मुंब





ई विद्यापीठाच्या प्रवेशपरीक्षेकरतां नेमलेल्या अभ्यासक्रमास
अनुसरून लिहिलेलें क्रमिक पुस्तक

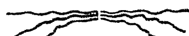
विद्युद्विज्ञान



लेखक—

मल्हार विनायक आपटे

बी. एस्सी; एम्. बी. बी. एस्.



मुद्रक, प्रकाशक—

शंकर नरहर जोशी,

'चित्रशाळा प्रेस'. १०२६ सदाशिव पेठ, पुणें २.



मूल्य बारा आणे.



वीजयुगाचा आद्यप्रवर्तक

मायकेल फॅरडे

विद्वत्वं च नृपत्वं च नैव तुल्यं कदाचन ।
स्वदेशे पूज्यते राजा विद्वान् सर्वत्र पूज्यते ॥

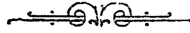


वीजयुगांतील महान् उद्यमी विद्वान्

टॉमस आल्व्हा एडिसन

न पण्डिताः साहसिका भवन्ति,
श्रुत्वाऽपि ते संतुलयन्ति तत्त्वं ।
तत्त्वं समादाय समाचरन्ति,
स्वार्थं प्रकुर्वन्ति परस्य चार्थम् ॥

निवेदन.



हें पुस्तक शाळेंतील विद्यार्थ्यांकरतां लिहिलें आहे. मुंबई विद्यापीठाच्या प्रवेश-परीक्षेकरतां १९३७ पासून चालू व्हावयाचा म्हणून एक अभ्यासक्रम प्रसिद्ध झाला आहे. त्यांतील वास्तव–रसायन या गणांत विद्युद्विज्ञानाचा जो भाग आहे, तेवढ्या सर्वांचा समावेश यांत केलेला आहे. लोकव्यवहारांत विजेचा विनियोग झपाट्यानें वाढत आहे. तेव्हां या विषयासंबंधीं थोडीबहुत जिज्ञासा मुलांच्या मनांत आहेच. तीच थोडथोडी वाढवावी आणि तृप्त करीत जावी, अशा धोरणानें प्रकरणें रचलीं आहेत. येथें दिलेले प्रयोग अगदीं साधे आहेत, पण त्यांतून नेमकें तत्त्वनिदर्शन व्हावें अशी योजना आहे. ' तेजोमापन ' या प्रकरणाचें निदर्शन मात्र अवघड जाईल असें वाटतें. हें प्रकरण प्रथम वाचनांत गाळलें तरी चालेल. अभ्यासक्रमांत ' जाउलचा नियम ' असें एक कलम आहे, म्हणून हें प्रकरण लिहावें लागलें; नाहीं तर तें लिहिलेंही नसतें. मापनाचा अभ्यास शाळेमध्यें करण्यास सवड मिळत नाहीं. परंतु व्यावहारिक महत्त्वाचा हा विषय एकदां कानावरून तरी जावा, इतकाच या कलमाचा हेतु समजला पाहिजे. याच विचारानें या प्रकरणांत संख्यात्मक प्रश्न विचारले नाहींत. बिनतारी संदेश व बोलपट या विषयासही हाच न्याय लागू आहे.

येथें वापरलेली परिभाषा कांहींशी नवी आहे, परंतु ती सुबोध आहे असा भरंवसा वाटतो. पुस्तक वाचतांना ती आकलन होण्यास विद्यार्थ्यास अडचण पडत नाहीं असा अनुभव आहे.

माझे बंधु येथील एंजिनिअरिंग कॉलेजमधील एक अध्यापक रा. सखारामपंत, यांनीं हें पुस्तक छापण्यापूर्वीं तपासून शुद्ध करून दिलें. ' वाहती वीज ' या त्यांच्या लेखमालेंतील कांहीं उतारे ' कर्षरेषा ' या प्रकरणांत घेतले आहेत. त्यांच्या साहाय्याबद्दल मी त्यांचा सदैव ऋणी आहे.

ता. ५-१२-१९३५ }
२८१ सदाशिव पुणें. }

अनुक्रमणिका.

शुद्धिपत्र

	अशुद्ध	शुद्ध
पृष्ठ ७९	इंफ्रे डेव्ही	हंफ्रे डेव्ही
	फराडे किंवा फॅराडे	फॅरॅडे

विद्युद्विज्ञान.



प्रकरण १

विजेची कुलकथा.

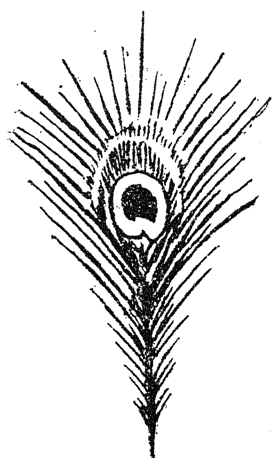
नामरहस्य.

संस्कृतामध्यें विजेला तडित्, सौदामिनी, विद्युत्, चंचला, चपला इत्यादि नांवें आहेत. हीं पांचच नांवें घेतलीं तरी त्यांपैकीं प्रत्येकामध्यें विजेचें एक एक स्वरूप ध्वनित केलेलें आहे. थंडीच्या दिवसांत आपण जर कांहीं वेळ पांघरलेला रेशमी मुकटा अंगावरून काढूं लागलों तर 'तड् तड्' असा आवाज ऐकूं येतो; आणि भोंवतीं अंधार असला तर तडतडण्याबरोबर चमचम अशा ठिणग्या निघतांनाही दिसतात. या सर्व आविष्कारावरून वर्षाकालांत आरंभीं आकाशस्थ विजेचे जे चमत्कार आपल्या दृष्टीस पडतात त्यांची आठवण झाल्याशिवाय रहात नाहीं. तडित् या शब्दांत विजेचें भेदक व भेसूर स्वरूप दाखविलें गेलें आहे. जेव्हां वीज एका पदार्थामधून दुसऱ्या पदार्थामध्यें ताडदिशीं उडी मारून जाते तेव्हां मधल्याचा भेद होतो खरा, पण त्याबरोबरच असेंही म्हणावयास हरकत नाहीं कीं, दोन दूरदूरचे वीजवन्त पदार्थ सुंदर आणि सुरेख पाशांनीं जोडिले जातात! ढगांत वीज खेळत असतांना एका ढगापासून दुसऱ्या ढगापर्यंत विजेचे सुंदर तंतु फेकले जाऊन जणूं काय रुपेरी जाळेंच टाकल्यासारखा देखावा कधीं कधीं दिसतो.

हेंच विजेचें सौदामिनी स्वरूप होय. (सु=सुंदर; दामन्=दावें, तंतु) विजेचें तिसरें स्वरूप विद्युत् हें होय. आकाशांत वारे आणि ढग यांची खळबळ चालू असतां जें विजेचें लकलकणारें तेजाळ स्वरूप डोळे दिपवितें तें विद्युत् होय. ढगांतली वीज मोठ्या झपाट्यानें इकडून तिकडे तिकडून इकडे धावतांना दिसते त्या प्रसंगीं तिचें चंचलत्व प्रतीत होतें, आणि त्याचबरोबर झपाट्यानें चाल करण्याचा गुण म्हणजेच चपलताही प्रत्ययास येते. याप्रमाणें या पांच नांवांत विजेच्या नैसर्गिक वर्तनरीति किती सुंदरपणें व्यक्त झाल्या आहेत !

इंग्लंडच्या इतिहासांत सोळावें शतक हें विद्येच्या आणि व्यापारधंद्यांच्या भरभराटीचें होतें हें प्रसिद्ध आहे. या काळामध्यें राणी एलिझाबेथ ही राज्य करीत होती. तिच्या पदरीं गिलबर्ट नांवाचा एक वैद्य असे. हा चौकस आणि कुशाग्र बुद्धीचा असून विजेविषयीं प्रायोगिक ज्ञान मिळविण्याचा उपक्रम प्रथमतः यानेंच केला. यानें " De Magnete " (अयस्कान्त) म्हणून एक ग्रंथ लिहिला त्यांत विजेविषयीं दिग्दर्शन आहे. अयस्कान्त लोहाला दुरूनसुद्धां ओढतो हा त्याचा जसा विशेष गुण आहे, तसाच गुण आपण ज्याला केरवा मणि म्हणतों त्यामध्येंही प्रसंगविशेषीं येतो. हा केरवा मणि लोकरीवर घासला असतां कागदाच्या हलक्या चिठोऱ्या किंवा धान्याचें भूस यांसारखे हलके आणि कोरडे पदार्थ दुरून ओढून घेतो, ही गोष्ट ग्रीक लोकांपासून युरोपियनांना माहीत झालेली गिलबर्टनें आपल्या ग्रंथांत नमूद केली आहे. हा कर्षणाचा गुण केरवामण्याप्रमाणें गंधक किंवा काच यामध्येंही येऊं शकतो असें गिलबर्टला आढळून आलें. अशा सर्व पदार्थांस ' इलेक्ट्रिक ' असें त्यानें नांव दिलें. हल्लींचा ' इलेक्ट्रिसिटी ' हा शब्द त्याचेंच भाववाचक रूप आहे.

केरवा मण्याला ग्रीकमध्यें 'इलेक्ट्रॉन' म्हणतात व इंग्रजींत 'अम्बर' म्हणतात. केरवा याचा व्युत्पत्त्यर्थच तृणकान्त असा आहे. केरवा हा शब्द फारशींतून आला आहे.


आ० १

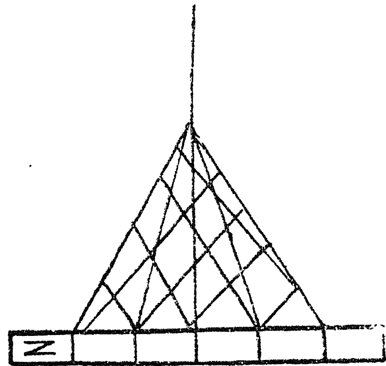
मोराचें पीस कोरड्या कागदांत ठेवून कोरड्या हातानें झटाझट गोंजारून सोडलें म्हणजे तें थरारतें आणि कोरडे व हलके कागदाचे कपटे त्याच्याजवळ आणले असतां ते पटापट त्याजकडे उड्या मारून येतात, जणूं काय तें पीस त्यांना ओढूनच घेत आहे. हात जवळ नेला असतां पीस हाताकडे ओढ घेतें, आणि हाताचा स्पर्श थोडा वेळ झाल्यावर मात्र त्याचा सर्व थरारा मावळून ओढसुद्धां नाहींशी होते. गिलबर्टनें अभ्यासलेले विजेचे आविष्कार अशाच प्रकारचे होते.

विजेचे हे आविष्कार पाहिले म्हणजे लोहचुंबकाची आठवण झाल्याखेरीज रहात नाहीं. म्हणून गिलबर्ट यानें लोहचुंबकाच्या स्वभावाचें निरीक्षण बरेंच दक्षतेनें केलें. किंबहुना प्रस्तुत विषयामध्यें 'शास्त्र' म्हणून कांहीं प्रतिष्ठा देतां येईल अशा योग्यतेचे विचार गिलबर्ट यानेंच प्रथम प्रकट केले. प्रस्तुत विषयांतला हा **श्रीगणेशाच** झाला म्हणावयाचा.

अयस्कान्त

एशिया मायनरमध्यें म्याग्नेशिया नामक गांवीं खाणींमध्यें कांहीं दगड सांपडतात. या दगडाचा विशेष गुण हा आढळतो कीं तो लोहाचे लहान लहान तुकडे ओढून घेतो. तुकडे थोडक्याशाच अंतरावर असले तर ते त्याजवर उडी सुद्धां घेतांना आढळतात. उलटपक्षीं एकादा मोठा थोरला लोहाचा गोळा असला आणि त्याच्या समीप हा दगड नेला तर हा स्वतः लोहावर उडी घेतो. पाश्चात्य लोकांनीं या दगडास 'मॅग्नेट' असें नांव दिलें आहे. संस्कृत वाङ्मयांत यास अयस्कान्त म्हटलें आहे. रामचंद्राचें मन पुत्रदर्शनानें आकर्षून गेलें त्या प्रसंगाचें वर्णन करतांना कवी भवभूतीनें उपमा दिली आहे ती अशी "अयोधातुं यद्वत् परिलघुरयस्कान्तशकलः" यावरून हें उघड होतें कीं मोठा लोहगोल छोट्या अयस्कान्तानें ओढला जातो हें त्याला अवगत होतें. मराठीमध्यें या दगडाला लोहचुंबक असें नांव मिळालें आहे. त्यांतली उपमा उघडच आहे.

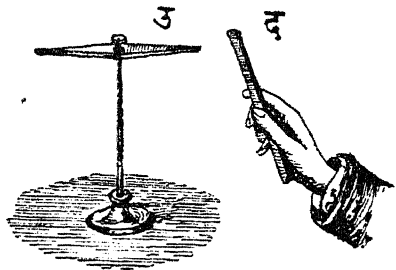
लोहचुंबक खनिजाचा दुसरा एक मोठा गुण म्हणजे हा कीं त्यावर पोलादी पट्ट्या, गज वगैरे पदार्थ घासून घेतले असतां ते स्वतःच लोहचुंबक बनतात आणि हें त्यांचें चुंबकत्व पुष्कळ काळ टिकूनही राहतें. लोहचुंबकाचा आणखी एक गुण फार महत्त्वाचा आहे. तो प्रकट होण्यास त्याला बरेंचसें स्वातंत्र्य द्यावयास पाहिजे. त्याला भुईवर किंवा पाटावर ठेवला असतां इकडे तिकडे हालावें असें त्याच्या मनांत आलें तरी घर्षणाचा विरोध आक्रमल्याखेरीज त्याला तसें करतां येत नाहीं. परंतु एका शिक्यांत बिनपिळाच्या दोऱ्यानें लोहचुंबक टांगून ठेवला तर तो आपला एक विशेष गुण दाखवतो तो असा कीं, त्याचें एक विशेष अंग विशेष दिशेला असलें तरच तो स्थिर राहतो एरवीं रहात नाहीं, गिरकी घेऊन त्या त्या



आ० २

दिशेस तें तें अंग आलें म्हणजे मग तो स्थिरावतो. याकरतां गज किंवा पट्टीच्या आकृतीचे लोहचुंबक विशेष चांगले. असल्या पट्टीचें एक टोक उत्तरेकडे आणि दुसरें दक्षिणेकडे रोखून राहतें. पहिल्यावर 'उ' (N) आणि दुसऱ्यावर 'द' (S) किंवा + आणि – अशा खुणा करून ठेवाव्या.

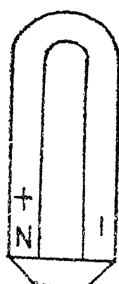
लोहचुंबकाचें हें ध्रुवत्व लक्ष्यांत आल्यानंतर साहजीकच अशी जिज्ञासा उत्पन्न होते कीं एका टांगत्या चुंबकपट्टीच्या जवळ दुसरी पट्टी आणली तर काय होईल? प्रयोग करून पाहतां असें आढळतें कीं दोन चुंबकांचीं उत्तर उत्तर टोकें एकमेकांस दूर लोटतात, पण उत्तर दक्षिण टोकें मात्र एकमेकास ओढ-तात. दक्षिण दक्षिण टोकें हींही एकमेकांस दूर लोट-तात. असमामध्यें ओढा आणि समामध्यें प्रतिकार असतो या गोष्टी यथें अगदीं ठळकपणें नजरेस येतात. असमामध्यें आकर्षण आणि समामध्यें प्रतिकार हें लोहचुंबकाच्या वागणुकीचें रहस्य ठरतें.



आ० ३

या गोष्टींचा अभ्यास केल्यानंतर गिलबर्टला एक बहारीची कल्पना अचानकपणें सुचली ती अशी कीं आपली वसुंधरा पृथिवी ही एक मोठी थोरली अयस्कान्ताच असावी ! एरवीं प्रत्येक अयस्कान्त नेमक्या एका विशेष दिशेकडेच तोंड करण्याचा हट्ट कां म्हणून करील ? पृथ्वीचा दक्षिणध्रुव जणू एकाद्या अयस्कान्तेचा उत्तरध्रुवच आहे आणि पृथ्वीचा उत्तरध्रुव हा एकाद्या अयस्कान्तेचा दक्षिण-ध्रुवच आहे ! या भल्या मोठ्या अयस्कान्तेचे हे भले मोठे महा-प्रभावी ध्रुव तिजजवळ वावरणाऱ्या लहानसहान अयस्कान्तांना ओढून नेमक्या दिशेस आणीत असतात असें गिलबर्टनें प्रतिपादन केलें.

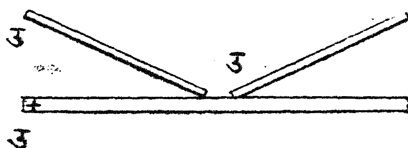
लोहचुंबकांचें कर्षणसामर्थ्य कालगत्या कमी कमी होत जातें असा अनुभव येतो. दोन लोहचुंबक पट्ट्या असम टोकें एकत्र आणून ठेवल्या असतां त्यांचें सामर्थ्य पुष्कळ काळ टिकतें, त्याचप्रमाणें लोहचुंबकाला नालाची आकृती देऊन त्याचीं दोन टोकें एकाद्या लोहाच्या तुकड्यानें जोडून टाकलीं तरीही त्याचें सामर्थ्य टिकून राहतें. कांहीं लोहचुंबक ऐते स्वभाव-सिद्ध असे सांपडतात पण पुष्कळसे मनुष्यानें प्रयत्नतः पोलादावर कांहीं संस्कार घडवून केलेले असतात. अशा कृत्रिम लोहचुंबकांपैकीं कांहींचें चुंबकत्व संस्कार संपतांच संपून जातें तर कांहींचें त्यानंतर कांहीं दिवस तरी निदान टिकूं शकतें. पहिले अल्पजीवी किंवा अल्पायु तर दुसरें चिरंजीव किंवा चिरायु होत.





आ. ४

लोहचुंबक तयार करण्याच्या दोन रीती ध्यानांत ठेवण्याजोग्या आहेत. (१) एकादी सुई किंवा लहानसा पोलादी तुकडा चुंबक करावयाचा असला तर तो एका मोठ्या चुंबकपट्टीवर बरेच वेळां एकाच रीतीनें मध्याकडून एका ध्रुवाकडे चापून ओढीत न्यावा म्हणजे अगोदर सुटून केलेल्या टोकांत त्या जातीचें ध्रुवत्व येईल. (२) एकादी मोठी पट्टी चुंबक करावयाची असली तर ती खालीं ठेऊन तिजवरून चित्रांत दाखविल्याप्रमाणें दोन लोहचुंबक पट्ट्या अनेकवार चापून ओढून घ्याव्या म्हणजे येथें दर्शविल्याप्रमाणें ध्रुवत्व येईल.



आ. ५

लोहचुंबकाचा उपयोग लोह ओढून घेण्याकरतां हल्लीं पुष्कळ होत आहे. परंतु हल्लींच्या इतके महाप्रभावी लोहचुंबक पूर्वीं करता येत नसल्यामुळें तसा उपयोग किरकोळ कामांतच फार तर होत असेल. लोहचुंबकाचा दिशा दाखविण्याचा गुण मात्र प्राचीन कालापासून माणूस आपल्या कामीं लावून घेत आला आहे. दिशाभूल होण्याचा संभव प्रवासामध्यें फार यावयाचा आणि तेव्हांच तर दिशा समजण्याची आवश्यकता फार, म्हणून प्रवासांत वापरण्याकरतां दिशादर्श करण्याची खटपट मुद्दाम करण्यांत आली. एका टोकदार खुंटावर एक पातळशी लोहचुंबक सुई बसवून तिच्या पाठीवर दिशाबोधक तबकडी बसवावयाची अशी दिशादर्शाची अगदीं साधी रचना असते. दिशा पहावयाच्याच वेळेला सुई मोकळी व्हावी, एरवीं चापून निचळी राहावी, चळवळीनें खराब होऊं नये,

एवढ्यासाठीं ती अडकवून धरून ऐत्यावेळीं मोकळी व्हावी अशासाठीं एक गुंडी केलेली असते.

अयस्कान्ताचें उत्तर अग्र नेमकें उत्तरेसच रोखलेलें असतें असें नाहीं. तें त्या दिशेपासून किंचित् पश्चिमेस झुकलेलें असतें. हा झुकाव पृथ्वीच्या वेगवेगळ्या भागावर वेगवेगळा असतो असें प्रथमतः कोलंबस यास कळून आलें. हें प्रादेशिक विचलन आगाऊ माहीत असलें म्हणजे दिशादर्शी वापरण्यांत अडचण येत नाहीं. अयस्कान्त–दिशेंत कालगत्याही भेद पडलेला आढळतो. पण तो फारच थोडा. त्यामुळें प्रवाशाची दिशाभूल होण्याचा संभव नाहीं.

प्रयोगव्यवहारांत लोहचुंबक सुई दिक्सूचि म्हणून वारंवार वापरावी लागते. अशा प्रसंगीं दिशा दाखविण्याची मोकळीक मिळावी म्हणून

(क) विनपिळाचा लांब बारीक धागा घेऊन त्यानें ती आडवी लटकत सोडिली पाहिजे, किंवा

(च) एकादी लाकडाची जाड चकती घेऊन तिच्यावर ती ठेवून चकती पाण्यावर तरंगत सोडिली पाहिजे, किंवा

(ट) तिच्या मध्यस्थानीं हिऱ्याचें किंवा गारेचें कठीण पण गुळगुळीत उखळ बसवून तें एकाद्या तीक्ष्ण गुळगुळीत टेक्यावर टेकून ठेविलें पाहिजे.

ही शेवटची टोक-टेक्याची युक्तीच दिशादर्शीत योजिलेली असते.

———

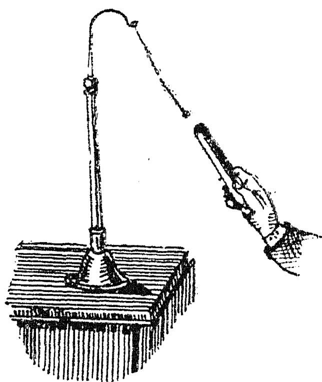
प्रकरण २

विजेचे दोन प्रकार

एक काचेची कांडी घ्यावी आणि एका रेशमी फडक्यावर घासावी. मग कागदाच्या लहान लहान चिठोऱ्यांजवळ ती कांडी आणावी म्हणजे त्या चिठोऱ्या कांडीवर भराभर उड्या मारतात आणि पुनः खालीं पडतात असें दिसून येतें. एक लाखेची कांडी घेऊन फलाणीवर घासली आणि ती अशा चिठोऱ्यांजवळ आणली तरीही असाच देखावा दिसतो. चिठोऱ्या कांडीवर उडी घेतात आणि खालीं पडतात. घर्षणानें काचकांडी व लाखकांडी या वीजवंत झाल्या, त्यांनीं चिठोऱ्या ओढून घेतल्या पण मग सोडल्या त्या कां म्हणून ? कांडींतील वीज नाहींशी झाली म्हणून सोडल्या असें म्हणतां येत नाहीं, कारण चार चिठोऱ्या उडी मारून खालीं पडल्यावर आणखी चार नव्या चिठोऱ्या त्यावर उडी मारून जातात. अशा पांच पंचवीस चिठोऱ्या ओढून घेऊन पडल्यानंतर आणखी चिठोऱ्या ओढल्या जात नाहींत तेव्हां मात्र कांडीवरील वीज संपली असें म्हटलें पाहिजे.

आतां एक भेंडाची लहानशी गोळी घेऊन ती रेशिमाच्या धाग्यानें काचेच्या आधारणीस टांगावी, आणि काचकांडी वीजवन्त करून या गोळीजवळ आणावी म्हणजे प्रथम ती ओढ घेऊन कांडीजवळ येते आणि कांडीस टेकून परत दूर सरते, जणूं काय कांडीवरची वीज तिनें चोरून घेतली असून ती आतां पळून जाऊं पहात आहे. आतां दुसरी एक भेंडाची गोळी अशीच टांगावी आणि लाखेची कांडी फलाणीवर वीजवन्त करून गोळीजवळ न्यावी म्हणजे ही दुसरी गोळी देखील मघाच्या गोळी-

सारखीच वागते असें आढळतें. या गोळीनें देखील लाखेवरची वीज चोरली आहे असें दिसतें. काचिक वीजवाल्या दोन गोळ्या आणि लाक्षिक वीजवाल्या दोन गोळ्या तयार कराव्या आणि त्या एकमेकींशीं कशा वागतात तें पहावें म्हणजे अशी मौज दिसते कीं, काचिकवाल्या गोळ्या एकमे-



आ० ६

कींपासून दूर जाऊं पाहतात तशाच लाक्षिकवाल्याही. पण काचिकवाल्या लाक्षिकवाल्याशीं मात्र गट्टी करतात ! असमांची गट्टी व समांचें वैर हा वीजवन्त पदार्थांचा देखील स्वभाव दिसतो !

एकाद्या साध्या काचकांडींत वीज नसते असा सामान्य समज आहे पण तो खरा आहे काय? काचकांडी रेशिमावर घासल्यावर वीजवन्त झालेली आढळली हें खरें पण ही वीज त्यांत मुळीं नव्हतीच कीं काय? लाक्षिक विजेनें वीजवन्त अशी एक गोळी आणि काचिक विजेनें वीजवन्त अशी एक गोळी यांचा समागम झाल्यावर त्यांची अवस्था कोणती असते? त्या बिनवीज किंवा निर्वीज असतात का वीजवन्त असतात? परीक्षा करून पाहतां असें आढळतें की, निर्वीज होण्याकडेच त्यांचा कल असतो. थोडाफार लाक्षिक किंवा काचिक विजेचा उच्चय (उत्कट संचय किंवा समुच्चय) त्यांच्यावर राहिलेला असल्यास त्याविरुद्ध जातीच्या उच्चयानें तो मालवता येतो. दोनही उच्चय सारख्या मापानें असले म्हणजे ते एकामेकास पूर्ण मालवतात हें उघडच आहे.

विजेच्या संबंधीं विचार करतांना आपणांस विजेचे दोन प्रकार ध्यानांत घेतले पाहिजेत इतकेंच नव्हे तर विजेच्या प्रत्येक प्रकारच्या उच्चयाचें मानही लक्ष्यांत आणलें पाहिजे. एकंदरींत तात्पर्य निघतें तें असें कीं, जो पदार्थ आपण निर्वीज म्हणून म्हणतों त्यांत मुळींच वीज नसते असें नाहीं तर त्यांत दोनही विरुद्ध प्रकारची वीज असते; परंतु दोहोंपैकीं कोणत्याही एका प्रकारची वीज उत्कट नसते; त्यांत वीज नसते असें नाहीं तर त्यांत विजेचा ' उच्चय ' नसतो.

निर्वीज पदार्थांत जर दोनही प्रकारची वीज समप्रमाणानें असते तर मग दोन पदार्थांच्या घर्षणानें पदार्थ वीजवन्त होतो तो कसा? वीजवन्त पदार्थांत तर एकाच प्रकारची वीज उत्कटपणें वसत असते. हा एकाच प्रकारच्या विजेला उत्कटपणा कसा मिळाला? दुसऱ्या प्रकारची वीज त्यांतून गेली म्हणून कीं पहिल्या प्रकारची त्यांत आली म्हणून? कदाचित् असेंही असेल कीं, एकाच प्रकारची वीज घासत्या पदार्थांपैकीं एकांतून निघून दुसऱ्यांत जात असेल. असें झालें तर एकांत विजेचें धन आणि दुसऱ्यांत ऋण उत्पन्न होईल. मग विजेचे दोन प्रकार मानण्याची काय गरज? अर्थात् वर्णनाच्या सोईकरतां आपण धनवीज आणि ऋणवीज असे दोन प्रकार म्हणावे पाहिजे तर. पण वस्तुतः वीज एक प्रकारची असून तिचें एक मध्यम मान म्हणजे निर्वीजता, आधिक्य म्हणजे धन वीजवन्तपणा आणि ऊनत्व (उणीव) म्हणजे ऋण वीजवन्तपणा असेंच समजावयास पाहिजे.

रेशिमावर घासली असतां काच वीजवन्त होते पण रेशिमही वीजवन्त होतें कीं नाहीं तें पाहिलें पाहिजे. तसेंच लाख फलाणी-वर घासली असतां वीजवन्त होते पण फलाणी वीजवन्त होते कीं नाहीं तें पाहिलें पाहिजे. प्रयोग करून पाहतां असें आढळतें कीं,

या प्रसंगीं रेशिमावर आणि फलाणीवर दोहींवर विजेचा उच्चय आढळतो, आणि तो त्या त्या प्रसंगीं काचेवर किंवा लाखेवर असलेल्या उच्चयाच्या विरुद्ध प्रकारचाच असतो. काच आणि रेशीम घासून दोन विरुद्ध जातीचें उच्चय यांपैकीं एकेकावर उत्पन्न होतात, तसेंच लाख व फलाणी यांचेंही आहे. रेशिमावर काच घासून ज्या जातीचा उच्चय काचेवर उत्पन्न होतो त्याच जातीचा लाख व फलाणी घासून फलाणीवर होतो, आणि काच-रेशीम घासून ज्या जातीचा उच्चय रेशिमावर येतो त्याच जातीचा उच्चय लाख-फलाणी घासून लाखेवर येतो. म्हणून विजेचे दोन प्रकार न मानतां एकच प्रकार मानणें आणि विजेचें आधिक्य आणि ऊनत्व यासच वर्णनाच्या सोईकरतां धनोच्चय आणि ऋणोच्चय अशीं नांवें देणें हेंच श्रेयस्कर ठरतें.

काच रेशिमावर घासली असतां एका प्रकारें वीजवन्त होते तर लोकरीवर किंवा मांजराच्या कातड्यावर घासली असतां ती वेगळ्याच प्रकारें वीजवन्त होते. पहिला प्रकार धन म्हटला—आणि तसाच संकेत आहे—तर दुसरा प्रकार ऋण म्हटला पाहिजे. पदार्थ कोणत्या प्रकारें वीजवन्त होणार हें केवळ त्याच्या एकट्याच्याच स्वभावावरून ठरतें असें नाहीं तर तो कोणाबरोबर घासला जाणार असेल त्याच्या आणि स्वतःच्या अशा दोघांच्या स्वभावावरून ठरतें. पुढील यादीपैकीं कोणत्याही एका द्रव्याच्या पदार्थास त्याच्या पलीकडल्यानें घासले असतां त्यावर धनोच्चय उत्पन्न होतो तर त्या अलीकडल्यानें घासलें असतां ऋणोच्चय उत्पन्न होतो.
१ मांजराचें कातडें २ फलाणी ३ काच ४ रेशीम ५ आपलें शरीर ६ लाकूड ७ धातु ८ रबर ९ राळ १० गंधक.

प्रस्तुत विजेचे प्रयोग करूं लागतांच एक गोष्ट ध्यानांत येते कीं, कांहीं जातीचे पदार्थ झपाट्यानें वीज वाहून नेतात तर

अन्य जातीचे पदार्थ वीज थोपवून धरतात. उदाहरणार्थ— भेंडाच्या गोळीवर विजेचा उच्चय करून ती जमिनीवर टाकून दिली तर ती लगेच निर्वीज होऊन जाते. परंतु ती रेशमाच्या धाग्यानें काचेच्या दांडीवर किंवा आकडीवर टांगली असतां बराच वेळपर्यंत वीजवन्त राहते. म्हणून जमीन वाहिक आहे तर रेशीम व काच रोधिक आहेत असें म्हणावें लागतें. विजेचे उच्चय रोधिक पदार्थावर असून सुद्धां ओल्या हवेंत अल्पकालच टिकतात पण कोरड्या हवेंत बराच वेळ टिकतात. पांघरलेल्या मुकट्यांतला तड-तडाट उन्हाळ्या पावसाळ्यांत अनुभवास येत नाहीं पण हिंवाळ्यांत वारंवार अनुभवास येतो. हवा स्वतः रोधिक आहे पण पाणी किंवा वाफर रोधिक नाहीं. कोणतेंही द्रव्य मुळींच वीज थोपवीत नाहीं किंवा मुळींच वीज वहात नाहीं असें नाहीं. पण त्यांच्या वाहिकपणामध्यें प्रती आहेत. एक पुढच्याहून अधिक वाहिक असा क्रम आढळतो तो असाः—१ धातु २ अर्व (कार्बन) ३ अम्ल ४ लवण (उदा०—मिठाचा विरघळा) ५ देह ६ जल ७ तैल ८ काष्ठ (लांकूड) ९ कोश (रेशीम, कापूस इ०)

धात्वर्वाम्ला लवणं देहा जल—तैल—काष्ठ—कोशानि ॥

ताडित्र

सतराव्या शतकामध्यें विजेसंबंधाच्या ज्ञानांत म्हणण्यासारखी भर पडली नाहीं. काचेची किंवा गंधकाची कांडी लोकरीवर हातानें घासून वीजवंत करण्याच्या ऐवजीं एकाद्या चक्रीनें गंधकाचा गोळा फिरत ठेवावा आणि एका अंगानें कपडा दाबून धरून दुसऱ्या अंगानें त्यावरून वीज घ्यावी अशी कल्पना येऊन तशा सोयीची यंत्र-सामग्री निर्माण करण्याकडे १८ व्या शतकांतील बऱ्याच जिज्ञासूंचें लक्ष लागलें. अशा यंत्राच्या योगानें बरीच जोरदार वीज तयार

करतां येऊं लागली. अशा यंत्रालाच ‘ तडित्र ’ असें नांव आहे, कारण त्यांतील गोळ्याजवळ हात नेतांच ताड् ताड् ठिणग्या उडून अंगांत शिरत. प्रयोगकारांना लवकरच असें कळून आलें कीं (१) पदार्थमात्राचे दोन स्पष्ट वर्ग पडतात. एक वाहिक, वीज वाहूं देणाऱ्या द्रव्यांचा वर्ग; आणि दुसरा रोधिक,वीज थोपवून धरणाऱ्या द्रव्यांचा वर्ग. (२) कोणताही पदार्थ वीजवंत करतां येतो. धातु वीज धारण करीत नाहीं असा जो पूर्वीं समज असे तो चुकीचा आहे.

धातूची कांडी किंवा गज साक्षात् हातांत न धरतां रेशमाचे मोजे घालून त्या हातांत ते धरावे आणि मग ते लोकर वगैरेवर घासावे म्हणजे गंधकाच्या किंवा काचेच्याप्रमाणें तेही वीजवंत होऊं शकतात असा अनुभव येतो. आपण इतर जिनसा जशा वीजवंत करतों तसा मनुष्यदेहच वीजवंत केला व मग दुसऱ्यानें त्या माणसाच्या अंगांतून वीज घेतली तर काय मौज होईल! असें पुनः पुनः मनांत येई. विजेच्या लहान लहान ठिणग्या घेतांना हातांत कांहीं तरी घुसल्यासारख्या वेदना होतात, तेव्हां मोठ्या ठिणग्या घेतल्या तर जिवावर बेतेल कीं काय अशी शंका येई; पण पुनः वाटे कदाचित् आल्हादही वाटेल, करून तर पाहूं या. ग्रे नामक एका साहसी जिज्ञासूनें रेशमाचें एक शिंकें बनविलें, त्यांत एका मुलाला निजविलें आणि त्याच्या अंगांत एका यंत्राच्या साहाय्यानें वीज साठवली. फ्रान्समधील एक डयू फे नांवाचा अभ्यासू त्याहीपेक्षां साहसी होता. त्यानें स्वतःच्या अंगांत वीज भरून घेतली. नंतर त्याच्या आश्रितांपैकीं एकानें त्याच्या अंगाशीं बोट धरलें तोंच डयूफेच्या अंगांतून ताड्दिशी विजेची ठिणगी उडाली! विजेचे दोन प्रकार आहेत असें प्रथम डयूफेनेंच प्रतिपादन केलें.

प्रकरण ३

विजेची भावना

गोष्ट चटदिशीं घडून जाते पण तिचा उलगडा होण्यास किती तरी वेळ लागतो! गिलबर्टनें विजेचे प्रयोग सुरू केल्यानंतर शतक लोटून गेलें तरी त्याच्या अगदीं प्राथमिक प्रयोगांचा देखील चांगला उलगडा झाला नाहीं. तो होण्याला एकच काय पण दोन शतकें देखील पुरीं पडलीं नाहींत. गिलबर्टचे प्रयोगच कशाला, साधी मोरपिसाला थरारा आणणारी अगदीं पोरांच्या खेळांतलीच गोष्ट कां घ्या ना; तिजपासून किती बोध घेण्यासारखा आहे! पण तो एकदम डोक्यांत उतरत नाहीं. त्याला फार काळ लागतो. आतां हें खरें कीं स्वाभाविक आविष्कारांचा उलगडा कोणाही एकाला थोडक्या वेळांत सुचणें हें दुरापास्त असलें तरी एका माणसाला तो अवगत झाल्यावर त्यापासून दुसऱ्याला तो घेण्याला फारच थोडा वेळ पुरतो. उदाहरणार्थ मागील प्रकरणांत वर्णन केलेले प्रयोग गिलबर्टनें करून दाखविल्यापासून त्यांतील रहस्य उलगडण्यास जरी दोन शतकें लागलीं तरी तें समजून घेण्यास दोन तास देखील पुरे आहेत.

धन आणि ऋण असे विजेचे दोन प्रकार असून दोन धन किंवा दोन ऋण उच्चय एकमेकांचा प्रतिकार करतात पण धन व ऋण एकमेकांस ओढतात असा सिद्धान्त आपण पूर्वानुभवावरून बसवला आहे. तथापि धनोच्चयी किंवा ऋणोच्चयी कांचेची कांडी निर्वीज पदार्थास ओढते हें जें अगदीं आद्य अवलोकन त्याशीं या सिद्धान्ताचा मेळ कसा बसणार? प्रश्न उत्पन्न केल्यानंतर त्याचें उत्तर सुचतें तें असें कीं धनोच्चय किंवा ऋणोच्चय जवळ असतांना

निर्वीज पदार्थांतील वीज दुभंगते, धनोच्चय जवळ आला असल्यास या पदार्थांतील ऋण भाग त्याला सामोरा जातो आणि धन भाग पाठमोरा होतो. दोन पदार्थांची भेट झाल्यानंतर एकमेकाला संमुख असलेल्या धन-ऋण उच्चयांत धनाचें मान अधिक असतें म्हणून दोनही पदार्थ धनोच्चयी होतात. दोहोंतली ओढ संपते आणि प्रतिकार मात्र शिल्लक राहतो. अर्थात् ते पदार्थ दूर दूर सरक-तात. वीजवन्त पदार्थावर चिठोऱ्या प्रथम उड्या मारतात पण नंतर सुटून पडतात त्याचें कारण हें आहे. मोरपीस कागदांतून घासून काढलें म्हणजे तें वीजवंत होतें तेव्हां त्याचे केस एकामेकांपासून दूरदूर पळतात याचें कारण सरळ आहे कीं त्यांत कोणत्या तरी एकाच प्रकारचा उच्चय असतो. परंतु वीजवन्त पीस आपल्या बोटाकडे अगदीं जोराची ओढ घेऊन येतें तें का म्हणून ? आपल्या शरीरांतील विजेपैकीं तद्विरुद्ध प्रकारची वीज त्याला सामोरी जाते म्हणूनच, असें म्हटलें पाहिजे.

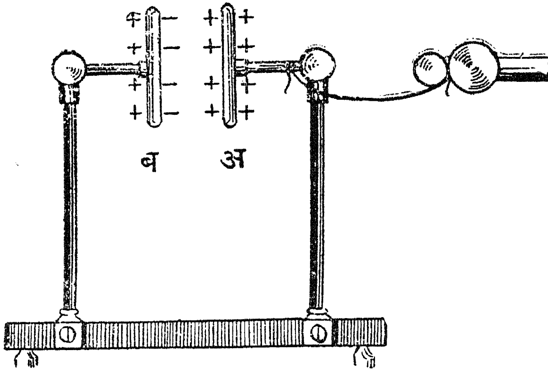
वरील विचारांतला महत्त्वाचा भाग हा आहे कीं, सहसा जो पदार्थ आपण निर्वीज समजतो तो दुसऱ्या एकाद्या वीजवन्त पदार्थाच्या केवळ शेजारामुळेंच वीजवन्त होतो म्हणजे त्यांतील विजेची साम्यावस्था ढळते. त्यांतील वीज एका अंगाला गोळा होते आणि दुसऱ्या अंगाला तितकीच विजेची उणीव राहते, किंवा त्यांतील वीज दुभंगून एका अंगास धन व दुसऱ्या अंगास ऋण असे विजेचे उच्चय उत्पन्न होतात असेंही म्हणतां येईल. कांहीं झालें तरी शेजारच्या वीजवन्त पदार्थामुळें एकाद्या पदार्थामध्यें विजेची विशेष भावना किंवा थोडक्यांत विभावना उत्पन्न होते असें म्हणणें भाग पडतें.

एकाद्या भांड्यांत आपण पाणी ओतूं लागलों तर तें पाणी भांड्याच्या काठांइतकें उंच चढेपर्यंतच फक्त त्यांत राहूं शकेल. भांडें

भरल्यानंतर अधिक पाणी ओतलें तर तें वाहून जातें. कांहीं अंशीं असाच प्रकार विजेच्या व्यवहारांतही होतो. एकाद्या पदार्थावर विजेचा उच्चय करण्यास सुरुवात केली तर त्या उच्चयाला कांहीं उंची येईपर्यंत तो वाढत राहूं शकतो. पण त्या उंचीपेक्षां अधिक उंची त्याला सहन होत नाहीं. अधिक वीज त्यास दिलीच तर ती वाहून जाते. याचें कारण असें आहे कीं, त्या पदार्थाच्या भोंवतालीं जी हवा आहे ती त्या विजेला थोपवून धरीत असते पण तिच्या रोधिकपणालाही कांहीं मर्यादा आहेच. ही मर्यादा ओलांडली म्हणजे ती वाहिक होते आणि वीज तिजमधून देखील आसपासच्या पदार्थांकडे पळून जाते.

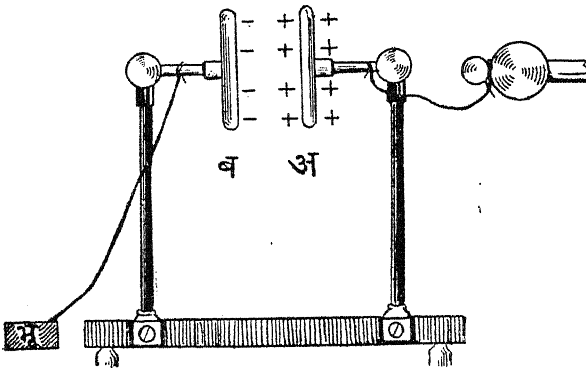
एकाद्या तडित्रानें जेव्हां वीज उत्पन्न करीत असतात तेव्हां ज्या एकाद्या गोळ्यावर तिचा भरणा व्हावयाचा असतो त्याच्या शेजारीं अगदीं थोड्या अंतरावर दुसरा एक धातूचा गोळा धरून ठेवलेला असून तो जमिनीशीं जोडून दिलेला असतो. हेतु हा कीं, पहिल्या गोळ्यावरील उच्चय पूर्ण होऊन वाहण्याची वेळ आली म्हणजे प्रथम या दुसऱ्या गोळ्यांतून ती वीज भुईंत वाहून जावी. शेजारपाजारच्या माणसाला तिनें तडाखा मारूं नये. तडित्राचें चाक फिरविलें कीं, थोड्याच वेळांत या गोळ्यामध्यें ठिणग्यांचा वर्षाव होऊं लागतो. या ठिणग्यांवरून ढगांतल्या विजेची आठवण झाल्याखेरीज रहात नाहीं. आधुनिक तडित्रें विभावन-तत्त्वावरच चलेलीं असतात. जुन्या तऱ्हेच्या साध्या तडित्रावर विशेष जोरदार वीज तयार करतां येत नसे. विभावनाच्या अभ्यासानें जोरदार वीज तयार करण्याची योजना सुचली. या योजनेंतील महत्त्वाचा भाग म्हणजे एक ‘ धारणी ’ असते ती अगदीं साध्या स्वरूपांत शेजारीं दाखविली आहे. आ० ७,८.

अ आणि ब या दोन पितळेच्या तबकड्या समोरासमोर धरल्या आहेत. आधाराच्या खांबाशीं त्यांचा वैद्युत संबंध तोडण्याकरतां मध्यंतरीं एबोनाइटचा किंवा दुसऱ्या एकाद्या रोधिक द्रव्याचा



आ. ७

तुकडा ठेवलेला आहे. शेजारच्या एका तडित्रावरून एक साखळी आणून ती अ च्या मुठीवर सोडला आहे. त्यामुळें अ वर धनविजेचा



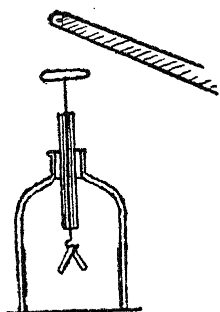
आ. ८

उच्चय झाला आहे. विभावनेनें ब वर धन ऋण उच्चय झाले

आहेत. आतां पुढील आकृतीकडे पहा. ब च्या मुठीवरून एक साखळी भुईवर सोडून दिली आहे. साहजिकच ब वरील धनोच्चय नाहींसा होऊन केवळ ऋणोच्चय शेजारच्या अ वरील धनोच्चयाच्या ओढीनें ब वर राहिलेला आहे. या योजनेचा एकंदर परिणाम असा होतो कीं, ब वरील ऋण आणि अ वरील धन एकमेकांच्या ओढीनें आपापल्या जागीं राहतात. आतां अ चा तडित्राशीं असलेला संबंध आणि ब चा भुईशीं असलेला संबंध हे काढून टाकले आणि अ व ब या तबकड्या भेंडाच्या गोळीनें तपासल्या तर अ वर धन आणि ब वर ऋण उच्चय पुष्कळ मोठ्या मानानें जमा झालेले आहेत असे आढळतें. ब तबकडी वापरली नाहीं तर अ वर एवढा मोठा उच्चय होऊं शकत नाहीं. बच्या योगानें अ वरील धनोच्चय बांधला जातो किंवा त्याची उंची तात्पुरती उतरली जाते म्हणून अधिक धन भरतां येतें. प्रस्तुत योजनेनें विजेचें धारण होतें म्हणून तिला धारणी असें नांव दिलें आहे.

सुवर्णपत्र वीजादर्श.

प्रस्तुत प्रयोग करतांना विजेचा उच्चय धन आहे कीं ऋण आहे हें तपासण्याकरतां एखादें साधन हाताशीं असण्याची आवश्यकता आहे. एकादी भेंडाची गोळी काच रेशिमावर घासून काचेवर आलेल्या उच्चयानें वीजवन्त करून घेतली आणि तिला परीक्ष्य पदार्थ ओढतो कीं ढकलतो तें पाहिलें म्हणजे परीक्षा होण्यासारखी आहे. परंतु या कामीं एक अधिक सोईस्कर साधन आहे तें असें. एका काचेच्या बरणीवर रोधिक द्रव्याचें उदा०—एबोनाईटचें झाकण केलेलें असतें. त्यांतून एक पितळेची सळई आंत नेलेली असते तिला आंतल्या टोकास एक आकडा असतो आणि वरच्या टोकास चकती असते. आंतल्या आकड्यावर

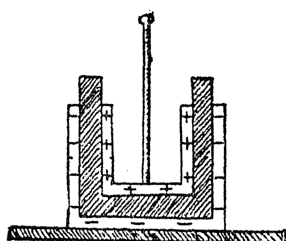


आ. ९

सोन्याचें पातळ पान दुमडून बसवलेलें असतें बरणीच्या तळांत एक धातूची तबकडी असून तिजवर अर्ध्या उंचीपर्यंत तटालगत पत्रा उभारलेला असतो. या उपकरणास वीजादर्श म्हणतात. तो वापरण्याची रीत अशी. रेशिमावर काचकांडी घासून तिनें चकतीस स्पर्श करावयाचा म्हणजे चकती सळई व पानें याजवर धनोच्चय येतो, आणि त्यामुळें पान उमलतें. आतां या चकतीजवळ धनोच्चय आणला तर पानावरील धनोच्चय वाढेल आणि तीं अधिक उमलेल उलट चकतीजवळ ऋणोच्चय आणला तर तें मिटेल हें उघड आहे.

लेडन बरणी

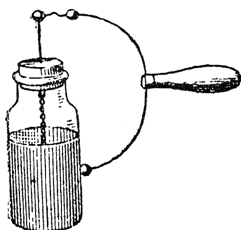
विजेच्या व्यवहारांत लेडन बरणी हें एक प्रसिद्ध उपकरण आहे. ही एक उत्तम धारणी आहे. बरणी काचेची असून तिचें आस्तर



आ. १०

धातूचें असतें. त्याला जोडलेला एक धातूचाच दांडा झाकणांतून वर काढलेला असतो. झाकण अर्थात् रोधिक द्रव्याचें असतें. बरणीला एक धातूच्या पत्र्याचेंच आवरण असतें तें तिच्या मानेपर्यंत चढवलेलें असतें. आस्तरही तितकेंच असतें. धारणीचें बाह्यांग किंवा आवरण भुईशीं जोडून आस्तराचा एकाद्या तडित्राशीं संबंध जोडावा. तडित्र कांहीं वेळ चालविलें म्हणजे धारणींत वीज उतरते. नंतर आपले हात रोधिकानें सुरक्षित करून भुईजोड

आणि यन्त्रजोड काढून घ्यावे म्हणजे धारणींत वीज साठविलेली मिळते. धारणींतील विजेचा विसर्ग करणें असल्यास आस्तर आणि आवरण, आतलें बाहेरचें अंग, एका पितळी चिमट्यानें जोडून द्यावें. अपघात टाळण्याकरतां या कामीं वापरावयाच्या चिमट्याची मूठ लाकडाची करतात. धारणीच्या आतल्या

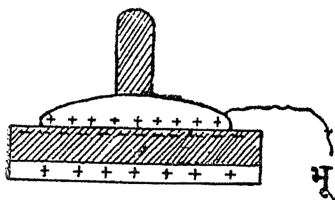


आ. ११

बाहेरच्या अंगांचा पुरता जोड होण्याच्या अगोदरच बरणीचें डोकें आणि चिमट्याचा गोळा यांत थोडी फट आहे तोंच वीज ताड्दिशीं उडी मारून गेल्याचें आढळून येतें. या संबंधांत एक गोष्ट विशेष ध्यानांत ठेवण्यासारखी आहे कीं धारणींतील वीज एका तडाक्यासरशीं सर्व निघून गेली असें होत नाहीं. एक तडाखा उडाल्यानंतर किंचित् काळानें आणखी एकाद दुसरा तडाखा उडतो, यावरून विजेचा कांहीं शेष मागें राहतो असें म्हणावें लागतें. अशा प्रकारच्या धारणीची प्रयुक्ति प्रथम लेडन या गांवीं निघाली म्हणून तिला लेडन धारणी असें नांव पडलें.

वीजाशय

विभावनेच्या तत्त्वावर रचलेलें हें आणखी एक साधन आहे.



आ. १२

एका धातूच्या तबकडींत राळेची वडी करून ठेवलेली असते. तिज-वर एक धातूची चकती असते तिला काचेचा दांडा असतो. तबकडीस भुईजोड करून ठेवावा आणि चकती काढून घेऊन

राळेवर फलाणी फटकावी किंवा घासावी म्हणजे राळेंत ऋण विजेचा उच्चय होतो. राळ रोधिक असल्यामुळें तबकडीच्या वरच्या अंगास धन विजेची भावना येते आणि ऋण वीज भुईंत जाते. नंतर चकती वर ठेवावी म्हणजें चकतीच्या खालच्या अंगास धन भावना येते. मग चकतीच्या वरच्या अंगास बोटानें स्पर्श करावा म्हणजे ऋण वीज शरीरांतून भुईंत निघून जाते. नंतर बोट काढून घेऊन चकती काचेच्या मुठीस धरून उचलावी म्हणजे तिजमध्यें धन विजेचा उच्चय मिळतो. राळेंतला ऋणोच्चय तबकडीच्या धनोच्चयानें ओढून धरला असल्यानें पुष्कळ वेळ टिकून राहतो आणि तोपर्यंत वर चकती ठेवून पूर्वीप्रमाणें अनेकवार धनोच्चय मिळूं शकतो. जलाशयांत जसें पाणी तसा या वीजाशयांत विजेचा उच्चय राहूं शकतो म्हणूनच यास वीजाशय नांव दिलें आहे.

इतिहास

धारणीची प्रयुक्ति निघाल्यापासून जोरदार वीज सांठवतां येऊं लागली हा एक फायदा झाला खरा, पण कांहीं काळ विजेचें वर्तन नीट समजून न आल्यामुळें कांहीं तोटाही झाला. हा तोटा लहान-सहान नसून प्राणहानीच्याच स्वरूपाचा होता. लेडन येथें जी वीज सांठविण्याची प्रथम कल्पना निघाली ती अशी. पाण्यांत वीज धरतां येते कां पाहूं या म्हणून मुशेनब्रूक व अलामांड या दोघा प्रयोगकारांनीं कुनीअस नामक आपल्या हस्तकाच्या हातांत एक पाण्यानें भरलेला गडू दिला आणि त्यांतील पाण्यांत तडित्राची साखळी सोडली आणि यंत्रास गिरक्या दिल्या. कांहीं वेळानें आतां विजेचा भरणा पुरे झाला असें मनांत आणून कुनीअसनें आपल्या एका हातांत भांडें असतांनाच दुसऱ्या हातानें पाण्यांतली साखळी काढून टाकण्याचा बेत केला. साखळीजवळ बोटें नेतांच ताडकन

त्याच्या अंगांत वीज उडाली, तो मूर्च्छा येऊन पडला आणि गडूच्या ठिकऱ्या उडाल्या! विजेशीं भलती सलगी केल्याचें फळ!

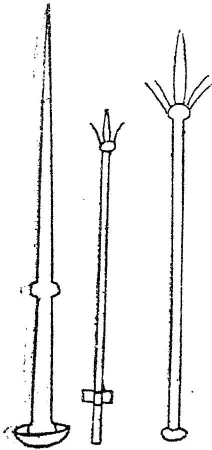
हा अपघात जर आणखी २०० वर्षांपूर्वी घडला असता तर तो भुताखेतांचा संचार असेंच त्याला नांव मिळालें असतें; परंतु ज्या काळीं तो घडला तो काळ जिज्ञासेचा होता. पुष्कळ जिज्ञासूंनीं तोच प्रयोग पुनः पुनः करून पाहिला. कांहींजण विजेच्या मोठ्या तडाख्यानें घाबरले आणि 'पुनः नकोरे बाबा ही पीडा,' असें उद्गारले! तर इतर कित्येकजण 'हरकत नाहीं, और जोरसे लगाव' असें वीरश्रीनें ओरडले!! एक शास्त्रज्ञ बहाद्दर असेंही म्हणाल्याचें प्रसिद्ध आहे कीं "जीव गेला तरी बेहेत्तर! शास्त्र-व्यासंगांत जीव गेला अशी ख्याति तर होईल!"

कांहीं काळपर्यंत धारणींतून छोटे छोटे तडाखे घेणें ही एक मौजेचा व हौसेची गोष्टच होऊन बसली होती. कित्येक फेरी-वाल्यांनीं धारणीच्या साहाय्यानें विजेचे तडाखे देण्याचा व्यापारच चालविला होता. अभ्यासू लोकांपैकीं एक डॉ० बेनिस यानें वीज-धारणीमध्यें पुष्कळ सुधारणा केली. एक पातळ काचेचा पेला घेऊन त्याला आंतून बुडापासून कांठाकडे थोड्या अंतरापर्यंत एक पत्र्याचें आस्तर आणि बाहेरून एक पत्र्याचें वेष्टण अशी रचना त्यानें केली.

प्रकरण ४

तडित् व तडित्त्राण

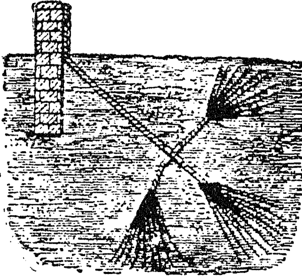
मोठ्या लौकिक व्यवहारांत विजेच्या ज्ञानाचा प्रथम उपयोग झाला तो तडित्पातापासून घरादारांचें संरक्षण करण्याकडे. घरावर वीज पडून केवढे अनर्थ होतात हें सर्वांस माहीत असेलच. दरवर्षी वर्षाकालांत वावटळी मेघगर्जना या तर वारंवार होतातच पण आरंभीं विजेचा चमचमाट फार असतो; त्या समयीं एकाद दुसरा तडित्पात होऊन घरें भंगणें, झाडें उन्मळून पडणें, जनावरें व माणसें दगावणें अशासारखे कांहीं भयंकर अपघातही होतात. विजेचे प्रकार, आकर्षण–प्रतिकार इत्यादि स्वभाव, पदार्थमात्रामधील वाहिक–रोधिकपणा, या गोष्टींचें ज्ञान समाजांत पसरल्यावर साहजिक कांहीं बुद्धिमन्तांच्या मनांत असें आलें कीं घरादारांच्यापेक्षां आधिक उंचावरून थेट भुईच्या ओल्या गाभ्यांत पोचणारा असा जर एकादा विजेला जाण्याला सोपा रस्ता तयार करून दिला तर ती वीज जवळपासच्या बांधकामाला किंवा जीवाशिवाला अपाय न करतां मेघांतून भुईंत किंवा भुईंतून मेघात जा ये करील. हा उद्देश सिद्धीस नेण्याकरतां घराच्या उंचांत उंच भागीं एक टोकाटोकाचा तांब्याचा सुळका बसवावयाचा आणि त्याचा संबंध तांब्याच्याच पट्ट्यापट्ट्यांनी थेट भुईच्या ओल्या गाभ्यापर्यंत पांगून पांगून पोचवावयाचा अशी युक्ति हल्लीं योजतात. ही युक्ति जवळ जवळ याच स्वरूपांत प्रथमतः १८ व्या



आ. १३

शतकांत अमेरिकन लोकनायक बेंजामिन फ्रांकलिन यास सुचली आणि तिचा त्यानें जोरानें प्रचारही केला. तडितेपासून संरक्षण करण्याच्या या साधनास तडित्त्राण असें नांव दिलें आहे.

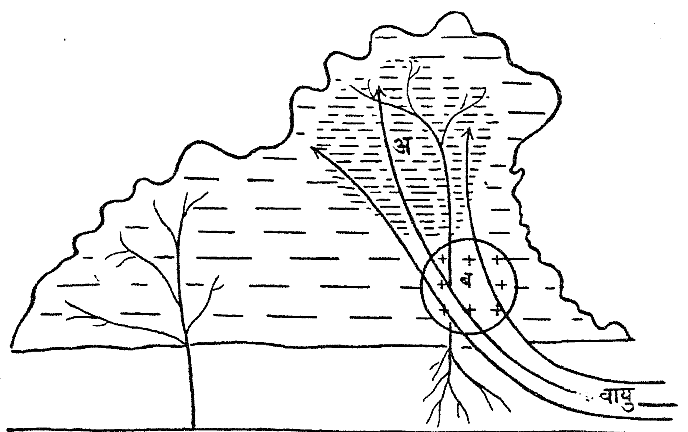
तडित्त्राणांच्या रचनेंत तीन गोष्टींचा विचार प्रमुख आहे. पहिली गोष्ट अशी कीं लाकूड, दगड, माती यापेक्षां धातुमार्ग हा विजेला वाहण्याला अधिक अनुकूल असतो. दुसरी गोष्ट अशी कीं आपली ही पृथ्वी एवढी अवाढव्य आहे कीं तिच्यांत थोडासा धनोच्चय किंवा ऋणोच्चय भरला काय किंवा तिच्यांतून काढला काय तिच्या क्षितीत—वीजवन्तपणाच्या तीव्रतेत—म्हणण्यासारखा फरक पडत नाहीं. म्हणून प्रसंगोपात्त तिच्यांत खुशाल वीज लोटावी किंवा तिच्यांतून काढून घ्यावी. थेट तिच्याशींच व्यवहार करावा म्हणजे झालें. तिसरी गोष्ट



आ. १४

अशी कीं वीज जेव्हां एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत उडी मारते तेव्हां त्या पदार्थांना टोकें किंवा कोचा असल्या तर त्यांतूनच उडी मारण्याकडे किंवा त्यांतच उडी घेण्याकडे तिचा विशेष कल असतो. विजेच्या बाबतींत समामध्यें प्रतिकार व असमामध्यें ओढ असल्यामुळें कोणत्याही एका प्रकारच्या विजेचा उच्चय एकाद्या पदार्थावर झाला असतां तो त्या पदार्थाच्या मध्यभागीं गोळा होणार नाहीं, काठाकाठाला पांगून जाईल आणि शेजारीं असमोच्चय असल्यास अगदीं टोकाला जाऊन उडी मारण्यास सज्ज होईल हें उघड आहे.

समुद्रावरून वाफर गोळा करून तापलेली हवा उंच अंतराळांत चढते आणि तेथें निवते. त्याबरोबर तिच्यांतील वाफर जलबिंदूंच्या रूपानें सुटून खाली पडूं लागते. पण हे बिंदू विशेष खालीं उतरले नाहींत तोंच त्यांत खालून वर जाणारा नवा वारा जोरानें घुसतो आणि त्यांचा धुव्वा उडवून देतो. या घर्षणामध्यें वीज उत्पन्न होते. अंतराळांत तरंगणाऱ्या तुषारांनाच आपण मेघ म्हणतों.



आ. १५

मेघाच्या पुढाल व खालील भागांतील तुषारांत धनोच्चय होतो आणि इतरत्र ऋणोच्चय पसरतो. दोन विभक्त उच्चयांतला ताण वाढतां वाढतां तुटतो आणि अशा समयीं ढगांतल्या ढगांत वीज चमकते. अन्तराळीं तडिन्-मेघ आले म्हणजे साहजीकच पृथ्वीवरही योग्य ठिकाणीं धन ऋण भावना उत्पन्न होतात, आणि त्यांतले ताण तुटून भुईतून मेघांत किंवा मेघांतून भुईत चमक उडते. वीज कोठेंच पडणार नाहीं, किंवा कोठूनही वर उडणार नाहीं अशीं आणि इतकीं तडित्त्राणें उभारणें अशक्यच आहे.

तरी सुद्धां पुष्कळसे निपात आणि उत्पात तडित्त्राणांच्या योजनेमुळें टाळतां येतात यांत शंका नाहीं. १८ व्या शतकाअखेर विजेचें पहिलें युग संपलें. या युगाच्या २०० वर्षांमध्यें जी विज्ञानसेवा घडली तिचें मूर्त फल म्हणजे तडित्त्राण हें होय.

ढगांत खेळणारी वीज आणि तडित्रादिकांनीं उत्पन्न होणारी वीज या मुळांत एकरूपच असाव्यात अशी कल्पना कोणासही सहज सुचणारी आहे. परंतु फ्रँकलिन् यानें ती प्रथम प्रयोगसिद्ध केली. एकदां त्यानें पावसाळी वादळाच्या समयाला एक पतंग वर उडविला आणि त्याच्या दोऱ्यावरून वीज खालीं येते कीं काय म्हणून तो वाट पहात बसला. वरून ढग चाललेच होते. होतां होतां कांहीं ढग वरून चालून गेल्यावर दोऱ्याचे केस थरारलेले दिसूं लागले. एक किल्लयाचा जुडगा त्यानें दोऱ्याला अडकवून दिला होता. 'वीज आली रे आली' असें मनांत आणून त्यानें त्या जुडग्यापुढें आपलीं बोटें धरलीं; तों तड्तड्तड् करीत त्याच्या अंगांत वीज उडाली. जसजसा दोरा ओला होत गेला तसतसें भराभर तडाखे बसूं लागले. यांतच आपला अंत होणार कीं काय असें त्याला भय वाटलें. ही गोष्ट १७५२ त झाली. तिचेंच अनुकरण सेंटपिटसबर्ग येथें रिचमन यानें केलें. परंतु त्याला एवढा मोठा तडाखा बसला कीं त्याच्या देहाचा तत्काल अंतच झाला !

प्रश्नावलि. १

१ लोहचुंबकाचें ध्रुवत्व कसें प्रत्ययास येतें ?

२ भूगोलाला अयस्कान्त म्हणतात त्याचें कारण काय ?

३ लोहचुंबकाचें चुंबकत्व टिकून राहण्याकरतां काय योजना करतात ?

४ प्रवासी दिशादर्श कसा तयार करतात ? दिशादर्शानें दिशा यथातथ्य कळण्याकरतां कोणती माहिती आगाऊ करून घेतली पाहिजे ?

५ लोहखंडाला चुंबकत्व कसें आणावें ? मऊ लोह आणि कडक लोह यांपैकीं कोणतें चुंबक करण्यायोग्य आहे ?

६ धन आणि ऋण वीज म्हणजे काय ? एकादा पदार्थ वीजवन्त असला तर त्यांत कोणत्या प्रकारच्या विजेचा उच्चय आहे हें कसें ठरवावें ?

७ हिवाळ्यांतच पांघरलेलें रेशमी वस्त्र गोळा करतांना तडतडतें पण पावसाळ्यांत तडतडत नाहीं तें कां ?

८ एकादी पितळेची नळी हातांत धरून रेशमावर घासली तर वीजवन्त होईल काय ? ती वीजवन्त होण्यास काय युक्ति योजली पाहिजे ?

९ सुवर्णपत्र वीजादर्श म्हणजे काय ? त्याची रचना कशी असते ? तो वापरावा कसा ?

१० वीजाशय म्हणजे काय ? त्याच्या वर्तनाचें विवरण कसें करावें ?

११ लेडन धारणीची रचना कशी असते ? तिच्यांत भरणा कसा करतात ? विसर्ग कसा करतात ? कूनिअसला अपघात घडला तो का ?

१२ तडित्त्राणांची रचना कशी करावी ? त्यांतील कोणते गुण विशेष उपयोगी पडतात ?

१३ ढगांत वीज उत्पन्न होते ती कशी ?

१४ तडित्पात किंवा उत्पात कशामुळें होतो ?

प्रकरण ५

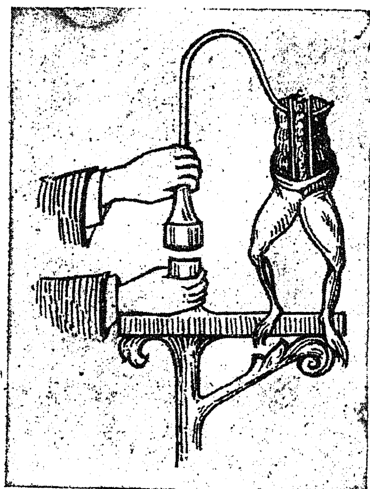
विजेची झरी.

प्राचीन काळीं वीज ही मोठी भयंकर चीज होती. चार दोन मैल दूरवर तिचा नाच चालला तरी त्यानें डोळे दिपून जातात. मग ती अगदीं समीप आली तर घाबरगुंडीच वळते यांत नवल काय ? वेळीं अवेळीं वीज ढगांतून खालीं उतरून ताडदिशीं घरादारास, झाडाझुडपास, जनावरास किंवा माणसास तडाखे देऊन जाते तेव्हां ती तत्क्षणींच त्या त्या पदार्थाचा सत्यानाश करते. हेच काय ते जुन्या लोकांचे विजेच्या वर्तनाचे अनुभव असत. अर्थातच त्या काळीं विजेच्या वाटेस जाण्याचे देखील कोणी मनांत आणलें नाहीं यांत कांहीं नवल नाहीं. आजच्या घटकेला विजेचा स्वभाव बदलला आहे असें मुळींच नाहीं तरी सुद्धां आपणास कोणताही अपकार न करतां ती आपल्या व्यवहारांतली लहान मोठीं कामें करण्यास सज्ज झाली आहे असें आपण हरघडी पहातों. हें कसें घडून आलें ? वीज माणसाला प्रसन्न झाली कशी ? हेंच आपणास आतां पहावयाचें आहे.

गिलबर्टच्या पूर्वीं वीज ही केवळ दैवी शक्ति समजत असत. तिचे दैवी आघात चुकवणें हें माणसाच्या आहाराबाहेरचें आहे असाच समज होता. गिलबर्टपासून फ्रँकलिनपर्यंतच्या सर्व उपासकांच्या उपासनेचें फळ म्हणून विजेचे दैवी आघात चुकवण्याचें एक साधन तडित्त्राण हें माणसाच्या हातीं लागलें. आपल्या फार भयंकर स्वरूपाचा अभ्यास करण्याइतका धीटपणा माणसाच्या अंगीं आला आहे असें जाणूनच कीं काय न कळे तदनंतर विजेनें आपलें अतिशय सौम्य स्वरूप दोघा इटालियनांच्या पुढें प्रकट केलें.

त्या दोघांचीं नावें आज सर्वतोमुखीं झालेलीं आहेत. एकाचें नांव गालवानी आणि दुसऱ्याचें नांव व्होल्टा.

गालवानी हा शारीरविषयाचा अध्यापक होता. एकदां तो मृत बेडूक घेऊन त्याचे छेदन करीत होता. शेजारींच मित्रमंडळी मौजेनें एका तडित्रांतून ठिणग्या पाडीत उभी होती. चमत्कार असा कीं ठिणग्या घेणारांना झिणझिण्या येत होत्याच, पण त्याबरोबरच मृत बेडकासही झिणझिण्या येत असल्याचें स्पष्ट दिसून आलें. हा काय चमत्कार आहे? असा प्रश्न गालवानी याजपुढें उभा राहिला. सामान्य मनुष्य एवढ्यावरच थांबता पण गालवानी तसा थांबला नाहीं. त्यानें असें मनांत आणलें कीं एवढ्याशा छोट्या तडित्राच्या ठिणग्यांनीं जर बेडकाच्या मासांत थरारा येतो तर ढगांतील तडितेच्या योगानें तर तो अधिकच आला पाहिजे. झालें या गोष्टीचा प्रत्यय पाहण्याचें ठरलें. बेडकाचीं ताजीं शवें उघड्या आंगणांत टांगून ठेवलीं. आकाशांत तडिन्मेघांचा संचार हो क्षणीं मेलेले बेडूक तंगड्या झाडूं लागले! ढगांतील विजेच्या उच्चयाशीं संमुख होणाऱ्या किंवा सामोऱ्या जाणाऱ्या विजेच्या भावनेचा हा आविष्कार होता हें



आ. १६

ध्यानांत येण्यासारखें आहे. परंतु या उद्योगांत आनुषंगिक रीत्या दुसराच एक प्रश्न गालवानीच्या पुढें उभा राहिला तो असाः—

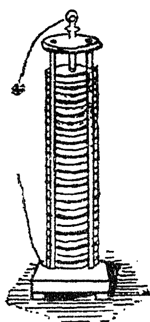
गालवानीनें रीतिप्रमाणें एका बेडकाचें ताजें शव एका पितळी कमानीस बांधलें आणि नेहमींप्रमाणें दोरीला टांगण्याऐवजीं सहजगत्या गच्चीवरच्या कठड्यास तें लटकावावें असें त्याच्या मनांत आलें. बेडकाच्या तंगड्या लोखंडी कठड्याला टेकल्या आणि हातांतली कमान कठड्याच्या खुंटावर त्यानें रोवली. इतक्यांत बेडकाच्या तंगड्या थरथरूं लागल्या. आकाश तर निरभ्र होतें. मग अशा वेळीं वीज प्रकट का झाली ? हा नवाच प्रश्न उद्भवला. गालवानीनें या चमत्काराचें विवरण केलें तें असें. बेडकाच्या शरीरांत वीज उत्पन्न होते. एका प्रकारची वीज खांद्यांतून कमानींत गेली. एका प्रकारची पायांतून कठड्यांत गेली. कमान व कठडा यांचा जोड होतांच त्यांना एकमेकांना भेटण्याला बाह्य मार्ग मिळाला. त्यामुळें दोन प्रकारची वीज दोहोंकडे वहात राहिली. मांसांतून वीज वहात राहिल्यानें तें थरथरत राहिलें. गालवानीचा देशबंधू व्होल्टा यानें गालवानीनं केलेलें हें विवरण मान्य केलें नाहीं. व्होल्टानें निराळेंच विवरण केलें. तेंच आज बहुतांशीं मान्य झालेलें आहे. वाहत्या विजेचें निदर्शन प्रथमतः गालवानीनें केलें म्हणून गालवानिक वीज म्हणजे वाहती वीज असें म्हणण्याचा प्रघात आहे.

गालवानीच्या प्रयोगावरून व्होल्टाच्या मनांत असें आलें कीं विजेचा उगम बेडकाच्या शरीरांत नव्हे तर दोन धातूंच्या सांध्यांत होतो. काच, रेशमावर घासली म्हणजे रेशीम व काच दोनही वीजवन्त होतात. तसेंच जस्त—तांबें किंवा पितळ—लोह यांचा संपर्क होताच तीं दोनही कांहीं अंशीं वीजवन्त होतात. एकावर ऋणोच्चय व एकावर धनोच्चय होतो. बाहेरून दोहोंना जोडणारी

वाट करून दिली म्हणजे दोहोंचा समेट होतो परंतु मूळ विषम-धातूंचा संपर्क कायम असल्यामुळें तेथें ऋणोच्चय आणि धनोच्चय उत्पन्न होतच राहतात आणि म्हणूनच पूर्ण केलेल्या वाटेंतून वीज वहात राहते.

या गोष्टी मनांत आणून व्होल्टानें नवे प्रयोग आरंभिले. त्यानें जस्त–तांब्याची एकेक पट्टी घेऊन एकीचें एक व दुसरीचें एक टोक अशीं दोन टोकें एकांत एक बसवून दिलीं आणि दुसऱ्या सुट्या टोकांनीं बेडकाच्या चेतनीस स्पर्श केला त्याबरोबर त्या चेतनीच्या ताब्यातले मांसतंतू थरथरूं लागले. तींच दोन टोकें त्यानें स्वतःच्या जिभेवर ठेवलीं तेव्हां जिभेसही चुरचुर स्पष्टपणें कळून आली. विजेचा प्रवाह अगदीं बारीक होता, पण होता यांत शंका नाहीं. तो काय आपल्या जिभेंत उत्पन्न झाला ? छे छे तो धातुसंपर्कांत झाला असला पाहिजे असें व्होल्टानें ठरविलें पण हें इतरांना पटवावें कसें ?

विजेचा जोर वाढवला पाहिजे असें मनांत आणून व्होल्टानें एक युक्ति योजली. त्यानें एक जस्ताची चकती, एक तांब्याची चकती अशा चकत्या एकावर एक रचून अनेक जोड्या तयार केल्या. नंतर या जोड्या एकावर एक रचून एक चवड तयार केली. मात्र रचतांनाच दरदोन जोड्यांच्यामध्यें फलाणीचा एकेक तुकडा अम्ल विद्रवात (अंबट विरघळ्यांत) भिजवून ठेवला. नंतर सर्वांत खालची जस्ताची चकती आणि सर्वांत वरची तांब्याची चकती यांच्यावर कांहीं विजेचा उच्चय आहे कीं नाहीं तें वीजादर्शानें तपासलें. तेव्हां जस्तांत ऋण

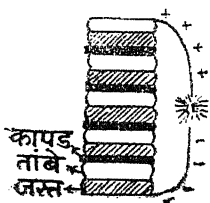


आ. १७

आणि तांब्यांत धन उच्चय असल्याचें आढळलें; शिवाय त्याला असेंही आढळलें कीं लहान चवडीपेक्षां मोठ्या चवडीच्या तळ-माथ्यांत हे उच्चय अधिक उत्कट असतात. चवडीच्या या दोन टोकांतल्या वैद्युत सपाटीमधील अंतर, किंवा थोडक्यांत क्षितिभेद, चकतीजोड्यांची संख्या वाढल्यानें वाढतो. सारांश जस्ततांब्यांचा संपर्क हा क्षितिभेद उत्पन्न करणारा आहे. जस्त—तांबें हीं एकत्र आलीं असतां जस्तापेक्षा तांबें वैद्युत दृष्ट्या उंच क्षितीवर असतें. हल्लीं वैद्युत क्षितिभेद यास व्होल्टेज हा प्रतिशब्द रूढ होऊन बसला आहे.

पहिली विजेरी

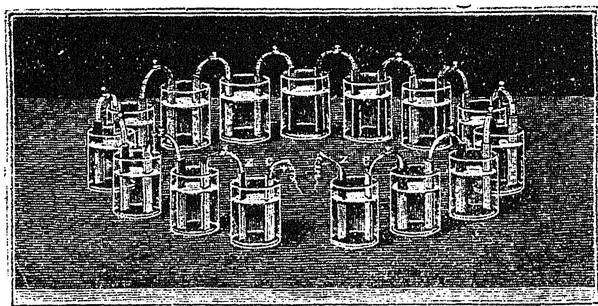
व्होल्टाची चकत्यांची चवड घेतली आणि तिच्या तळमाथ्याला तांब्याच्या तारा जोडून त्यांचीं टोकें जवळजवळ आणलीं तर त्यांमध्यें



आ. १८

वीज तड्तड् करीत चाललेली कळून येते. अशी वहाळ कांहीं वेळ चालू राहते, पण मग जस्त मळून जातें, अम्ल संपून जातें, तारांचीं टोकें गंजतात आणि वहाळ थांबते. या चकत्यांच्या चवडीपेक्षां वीजवहाळ मिळ-वण्याचें अधिक सोईस्कर साधन व्होल्टानें लवकरच तयार केलें तें असें:—एका काचेच्या पेल्यांत अम्ल ठेवावें, आणि त्यांत तांब्याची एक आणि जस्ताची एक, अशा दोन पट्ट्या एकमेकींपासून अलग ठेवाव्या; म्हणजे जस्तपटी आणि तांबेंपट्टी यांत पूर्वींप्रमाणेंच क्षितिभेद आढळतो. विशेष जोर-दार वहाळ पाहिजे असल्यास, पेल्यांची पंगत मांडावी; आणि एकेकाची तांबेपट्टी पुढल्याच्या जस्तपट्टीशीं जोडावी; म्हणजे अखेरची तांबेपट्टी आणि आरंभाची जस्तपट्टी याजमध्यें मोठा क्षिति-

भेद मिळतो. क्षितिभेद साधल्यानंतर वहाळ मिळवावयास दोन क्षितींमध्यें पूर्ण वाट योजली म्हणजे झालें.



आ. १९

वीजेच्या वहाळीचे परिणाम

वीजवहाळीचा पहिला परिणाम आपण पाहिलाच आहे. तो तापन हा होय. तडित्रांतून म्हणा, ढगांतून म्हणा, किंवा चकत्यांच्या चवडीच्या एका टोकांतून म्हणा, वीज उडी मारून जाते तेव्हां वाटेंतली हवा सपाटून तापते आणि प्रसंगीं ठिणग्या पडतात; हें विजेच्या पहिल्याच सलामींत अनुभवास येतें. येथें तापन हा वहाळीचा परिणाम झाला. दुसरा परिणाम दीपन. हा कांहीं अंशीं त्याबरोबरच नजरेत भरणारा आहे. ढगांत वीज चमकली म्हणजे डोळे दिपवितेच. तेव्हां वीजवहाळीचा दीपन हा परिणाम कांहीं नव्यानें सांगावयास नको. ढगांतल्या विजेची वहाळ अतिशय थोडावेळ टिकणारी, केवळ क्षणिक; पण तिचा जोर फार मोठा, क्षितिभेद भयंकर, तडित्पात क्षणिक पण फार जोराचा, त्याबरोबर उत्पन्न होणारा उष्मा किंवा प्रकाश यांचा कांहीं उपयोगही नाहीं, उलट अपघाताची भीति मोठी, अशी स्थिति असते. आतां, व्होल्टाच्या पेल्याच्या पंक्तीनें मात्र खुशाल घटकाभर विजेची वहाळ घ्यावी. वाट

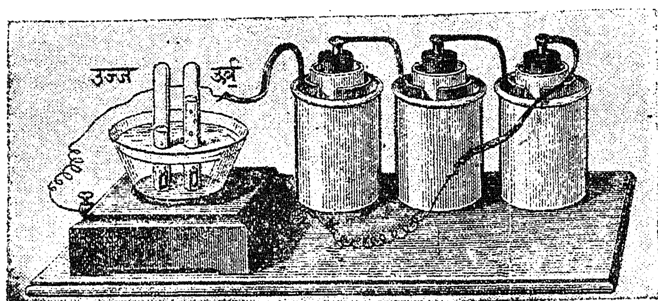
पुरी करण्याच्या कामीं अमळ बारीकच तार घ्यावी म्हणजे ती तापल्याचें आढळून येईल. तिच्या योगानें पाहिजे तर तामलींतले पाणी तापवून घ्यावें, किंवा हल्लीं छोटे छोटे दिवे मिळतात तसला एकादा दिवा तेवत ठेवावा. (व्होल्टाच्या वेळीं असले दिवे अर्थातच मुळींच नव्हते.)

विच्छेदन.

एका पेल्यांत मोरचुदाचें विद्रव (विरघळा) घ्यावें, आणि त्यांत दोन तांब्याच्या पट्ट्या अलग अलग उभ्या करून त्या पेल्यांच्या पङ्क्तीच्या दोन टोकांस जोडाव्या, म्हणजे विद्रवामधून विजेची वहाळ जातांना ऋणपट्टीवर तांब्याचा थर जमतो, आणि धनपट्टी झिजून जाते, असें आढळून येतें. दोनही पट्ट्या वजन करून पाहतां, ऋणपट्टीचें वजन कांहींसें वाढलें असून धनेचें तितकेंच कमी झालें आहे असें दिसून येतें. धनपट्टीवरून ताम्रकण निघून गेले आणि ऋणपट्टीवर आले हें खरें, पण मध्यंतरीं तर ते कोठें दिसले नाहींत हा मोठा चमत्कार आहे. तथापि मध्यंतरीं विरघळ्यांत मोरचूद (ताम्रगंधिक) आहेच हें लक्षात आणलें म्हणजे, एकीकडे विरघळ्यांत ताम्रकण जिरले, आणि दुसरीकडे विरघळ्यांतून पट्टीवर सुटून पडले, अशी उपपत्ति लागते. एकंदरींत ताम्रगंधिकाचीं दोन दलें झालीं, आणि त्यांतलें ताम्र हें एक दल सुटें होऊन एका पक्षीं बाहेर पडलें, आणि दुसऱ्या पक्षीं गंधिक हें दल सुटें होऊन बाहेर न पडतां त्यानें नवें ताम्र आपल्या जोडींत आणलें, असें म्हणावें लागतें. एरवीं विरघळा कायम राहून ताम्र इकडून तिकडे मुकाट्यानें गेलें, या गोष्टीचा उलगडा होत नाहीं. येथें विजेच्या वहाळीनें ताम्रगंधिकाचें छेदन झालें, हा मुख्य परिणाम आहे.

प्रस्तुत प्रयोगामध्यें गंधिकाम्लाचा किंवा मिठाचा विरघळा घेतला,

आणि त्यांत तांब्याच्या ऐवजी जर राजत (प्लाटिनम) धातूच्या पट्ट्या ठेवल्या तर त्यावर ऋणपक्षाकडे उज्जवायु (H_2) आणि घनपक्षाकडे ऊर्व वायु (O_2) येतो. एकूण अम्ल किंवा लवण तसेंच राहतें आणि पाण्याचें विच्छेदन होतें, असें आढळतें. विजेच्या वहाळीनें जें छेदन होतें तें विच्छेदन होय. विरघळा वापरण्याऐवजीं नुसतें



आ. २०

पाणीच घेतलें तर त्यांतून पुरेसा विजेचा प्रवाह जातच नाहीं.

विजेरींतील विक्रिया

मूळ विजेरीत एक रासायनिक क्रिया (विक्रीया) चालू असतें ती अशी. गंधिकाम्ल म्हणजे उज्जगंधिक होय. त्यांत जस्त बुडविल्यानें जस्त झिजून जस्तगंधिक बनतें आणि उज्ज बुडबुडून बाहेर पडतो. परंतु या विरघळ्यांत तांब्याची पट्टी जस्ताच्यासमोर उभी करून, बाहेरून जस्ततांब्यामधील वाट पुरी करतांच, बुडबुडे जस्तापाशी न निघतां तांब्यापाशीं निघतात. प्रथमतः असें वाटतें कीं जस्त झिजण्याऐवजीं तांबेंच झिजत आहे; परंतु तसें कांहीं नसून येथें जस्तच झिजत आहे, असें प्रयोगाअंती अनुभवास येतें. जस्त झिजतें तेथेंच गंधिक दलापासून उज्ज मोकळा होतो हें खरें, पण तो विजेशी बांधलेला असतो. ताम्रावर येऊन तो सुटा होतांना तांबेपट्टीतून विज चालू होते.

विजेला वाहण्याला मार्ग करून दिला नसेल तर विजेच्या ऐवजीं उष्णता उत्पन्न होते, विरघळा तापतो, आणि उज्ज तांब्यापर्यंत चालून जात नाहीं. जस्तावरच उज्जवायूचे बुडबुडे निघतात.

सारांश

प्रस्तुत उदाहरणांत विजेची वहाळ चालू ठेवण्याचें श्रेय, अंशतः जस्ततांब्यामधील अम्लास आहे, अंशतः बाहेरच्या तारा विरघळा वगैरे पदार्थांसही आहे; पण मुख्यतः जस्तातांब्यामध्यें जो वैद्युत क्षितिभेद उत्पन्न होतो त्यास आहे. स्वाधीन वीजवहाळ मिळविण्यास सोईस्कर असें वैद्युत क्षितिभेद उत्पन्न करण्याचें जें साधन, तीच विजेची झरी किंवा **विजेरी.** ती व्होल्टानें प्रथम तयार केली म्हणून वैद्युत क्षितिभेद मोजण्याचें जें एकधेय हल्लीं ठरलेलें आहे त्यास व्होल्ट असें नांव दिलेलें आहे. जस्त–गंधिकाम्ल–तांबें, या साध्या व्होल्टाविजेरीचा क्षितिभेद, सुमारें एक व्होल्ट इतकाच असतो.

प्रश्नावलि

व्होल्टाची चकत्यांची चवड आणि पेल्यांची पंगत कशी तयार करावी ? व्होल्टा-विजेरीचे धन व ऋण पक्ष कोणते ? वीजवहाळीचे कोणकोणते परिणाम व्होल्टाच्या एका पेल्यानें दाखवितां येतात ? कोणकोणते दहा पेल्यांच्या माळकेनें दाखवितां येतात ? पाण्याचें विच्छेदन होत असतांना उज्जवायु विजेरीच्या कोणत्या टोकाशीं येतो ? व्होल्ट हें कशाचें माप आहे ?

प्रकरण ६

पाण्याचा दृष्टान्त

वीज ही स्वभावतः चंचला व चपला असून तडित् रूपानें मनुष्यास नेहमीं भेवडावते. परंतु या तिच्या भयाण रूपाशिवाय दुसरेंही एक चपल असून सौम्य रूप ती धारण करूं शकते, असें व्होल्टानें दाखवून दिलें. तेव्हांपासून अनेक विद्वानांनीं या दुसऱ्या सौम्य स्वरूपाचा झटून अभ्यास केला. या अभ्यासानें प्रसन्न होऊन वीज आपल्या भक्तांचीं बारीक सारीक कामें मोठ्या तत्परतेनें करूं लागली. एकाद्या तांब्याच्या चमच्यावर किंवा वाटीवर, चांदीचा लेप किंवा मुलामा चढवणें यासारखें नाजूक काम, विजेच्या संथ वहाळीनें जितकें चांगलें साधतें तितकें तें दुसऱ्या रीतीनें साधत नाहीं. मोरचुदाच्या विरघळ्यांत तांब्याचे पत्रे ठेऊन त्यांतून वीज वाहूं दिली, तर विरघळ्यांतलें तांबें एका पत्र्यावर चढतें आणि दुसऱ्या पत्र्याचें तांबें विरघळतें, असें आपण पाहिलेंच आहे. आतां ऋण टोंकाशीं चमचा व वाटी, धन टोंकाशीं चांदीचा पत्रा, आणि मध्यंतरीं रजतश्यामक (AgCN) या चांदीच्या लवणाचा विरघळा, यांची योजना करून वीज वाहूं दिली असतां, चमच्यावर व वाटीवर चांदीचा सुंदर मुलामा बसत असल्याचें आढळून येतें.

चांदीचा मुलामा देणें हें नाजूक काम आहे. या कामाला व्होल्टाची विजेरी चालणार नाहीं. मुलामा किंवा विलेप बसावयाचा तो एकसंधी पातळ आणि टिकाऊ असावयास पाहिजे. एवढ्याकरता विजेरींतून संथ वहाळ मिळणें अवश्य असतें. व्होल्टाची विजेरी वापरली असतां पहिल्यानें बराच झपाझप विलेप होतो पण पुढें तो पुष्कळ कमी पडतो. तांब्यावरती बुडबुडे जमतात त्यांचा

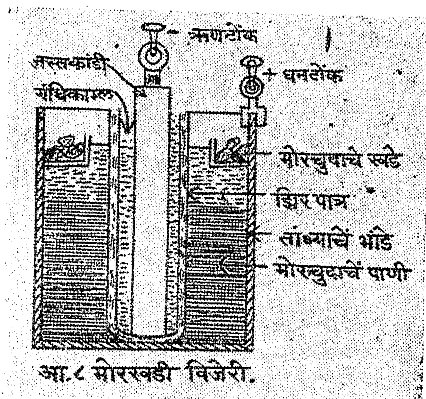
हा परिणाम. पुढें बुडबुडे मोठे होऊन फुटूं लागतात त्याबरोबर इकडे विलेपही जास्ती कमी होऊन तडकतो, सोलपटतो, अशा नाना तऱ्हा होतात. विजेची वहाळच संथ नाहीं त्याचा हा परिणाम हें उघड आहे. बुडबुडे जमण्यानें विजेच्या मार्गांत अडथळा उत्पन्न होतो हें एक कारण आहेच, शिवाय अशा प्रसंगीं विजेरीचा क्षिति-भेदही बदलत जातो असाही अनुभव येतो.

बऱ्याच अंशीं वीज ही पाण्यासारखी आहे. पाणी उंच क्षिती-वरून खालपट क्षितीकडे वाहतें. तशीच वीज ही उच्च क्षितीकडून नीच क्षितीकडे वाहते. कोणत्याही दोन क्षितींमध्यें पाण्याची वहाळ किती चालेल हें त्या दोहोंतील मार्गावर अवलंबून राहणार हें उघड आहे. एकाद्या नळीनें मार्ग करून दिला तर पाणी उंचावरून खालीं वाहतें; पण नळी लहान मोठी करावी तशी वहाळ लहान मोठी होते, नळी चोंदली तर वहाळ कमी होते, इत्यादि गोष्टी परिचया-च्याच आहेत. उंचावर नवीन पाण्याचा भरणा होत नसला तर, किंवा होत असेल तो खपणुकीच्या मानानें कमी पडत असेल तर, पाण्याची उंची सुद्धां कमी होते; आणि मार्ग पाहिल्याइतकाच साफ असून सुद्धां पाण्याचा जोर कमी होतो, आणि वहाळ ही कमी पडते, हे नेह-मीचे अनुभव आहेत. वीजवहाळीच्या संबंधांत देखील या सर्व गोष्टीचा दृष्टान्त लागू पडतो.

मोरखडी विजेरी

धनपट्टीवर वायूचे बुडबुडे जमणें म्हणजे मार्गांत व्यत्यय तर आहेच, पण क्षितिभेद उत्पन्न होण्यांतही व्यत्यय आहे. हा वायु उत्पन्न न होईल तर वीजवहाळींत पुष्कळ संथपणा येईल, हें जाणून डानियल यानें विजेरीची रचना सुधारली ती अशी. तांबेपट्टी ऐवजीं त्यानें एक तांब्याचें पंचपात्र घेतलें, त्यांत मोरचुदाचा विरघळा घातला, आणि विरघळ्यांतच लोंबता असा एक कप्पा करून त्यांत

मोरचुदाचे खडे टाकून ठेवण्याची व्यवस्था केली; हेतु हा कीं विरघळा नेहमीं भरघास राहावा. त्यांतलें जितकें लवण कमी होईल तितकें खड्यांतून त्यांत विरघळून यावें. मध्यभागीं त्यानें एक झिर-पात्र, झिरपाऊ म्ह० बारीक बारीक भोकांचें एक भांडें, ठेवलें आणि



आ.८ मोरखडी विजेरी.

आ. २१

त्यांत, गंधिकाम्लाचा विरघळा व जस्ताची एक कांडी, अशी योजना केली. ही कांडी पाण्यांत मुरवलेली असली म्हणजे उत्तम काम देते असा अनुभव आला आहे. तांब्याचें भांडें हें विजेरीचें धन तोंड आणि जस्ताची कांडी हें ऋण तोंड होय. धन–ऋण तोंडें बाहेरून जोडलीं म्हणजे विजेला पूर्ण वाट मिळते. जस्त झिजतें पण उज्ज वायुरूपानें प्रकट न होतां, मोरचुदांतून ताम्राला हुस-कावून स्वतः गंधिकखंडाशीं संयोग पावून, विरघळ्यांतच राहतो. तांम्रगंधिक (मोरचूद) याऐवजीं उज्जगंधिक (गंधिकाम्ल) होऊन राहतें. तांब्याचे कण तांब्याच्या भांड्यासच चिकटून राहतात, यामुळें वीज वहात असतांना विजेरीचें स्वरूप बदलत नाहीं, म्हणून क्षितिभेदही बदलत नाहीं. बाहेरचे वीज वाहण्याचे मार्ग, तार

विलेपन पात्रांतील विरघळे वगैरे, बदलले नाहींत म्हणजे वहाळ कमी अधिक होण्याचें कारण राहात नाहीं; ती संथपणें चालते.

विजेची यत्ता

आतां मूळांत विजेची यत्ता कशी ठरवावी ? हा प्रश्न हातीं घेऊं. या प्रश्नाला साहजिक उत्तर असें आहे कीं वीजवाहळीच्या परिणामावरून वीजेची यत्ता ठरेल. परिणाम तापनरूप असला तर उष्मा मोजून त्यावरून विजेची यत्ता सांगावी, किंवा प्रकाशनरूप असला तर प्रकाश मोजून त्यावरून विजेची यत्ता सांगावी, किंवा विच्छेदनरूप असला तर विच्छेदनाच्या मापावरून विजेची यत्ता सांगावी, इतक्या रीती सुचतात. प्रस्तुत विलेपन हें विच्छेदनाचेंच फल आहे, तेव्हां विलेप मोजून तेंच विजेचें माप म्हणून सांगतां येईल. पाण्याचा दृष्टान्त घेतला तर असें म्हणतां येईल कीं, पाणी मोजावयास आपण एकादें भांडें ठरवून त्यानें पाण्याचें माप घालतों, तसेंच वीज मोजण्यास विलेपी रुपें हेंच माप घ्यावें. रुप्याचा एकेक अंश हे जणू विजेचें माप, या मापांत मावेल ती वीज म्हणजे एक माप वीज, असा अर्थ करावा म्हणजे झालें. विजेची यत्ता सांगणें असल्यास, इतक्या रुप्यांतून वाहिलेली वीज असें सांगणें पुरें आहे.

वीज मोजण्याचें जें एकधेय हल्लीं प्रचारांत आहे, त्यास कूलोम असें नांव आहे. 'कूलोम' या नांवाचा मोठा विज्ञानी होऊन गेला. त्यानें विजेच्या व्यवहारांतील बऱ्याच गोष्टींचें यथातथ्य मापन करण्याच्या रीती बसविल्या. त्याच्या स्मरणार्थ त्याचें नाव विजेच्या एकधेयास देण्यात आलें आहे. एक मिलिग्राम रुपें विलेपित होतांना जितकी वीज वहाते तितकी

वीज, ही एक कूलोम म्हणावयाची असा निर्धार आहे. एकाच सरणींत ताम्रविलेप आणि रौप्यविलेप, असे दोन्ही विलेप करण्याच्या व्यवस्थेनें मांडणी केली असतां, दोनही विलेप एका सरांत चालू असतात. म्हणून एकाच अवधींत एकांतून जितकी वीज वाहते तितकीच दुसऱ्यांतून वाहते, हें उघड आहे. (पुनः पाण्याचा दृष्टान्त घ्यावा.) अशा प्रसंगीं, १ मिलिग्राम रौप्यविलेप झाला म्हणजे १/३ मिलिग्राम ताम्रविलेप होतो, असें आढळतें. अर्थात् रुप्याच्या ऐवजीं ताम्रविलेप हें माप घेतलें तर, १/३ मिलिग्रामाचा विलेप म्हणजे एक कुलोम वीज असें म्हणावयास पाहिजे.

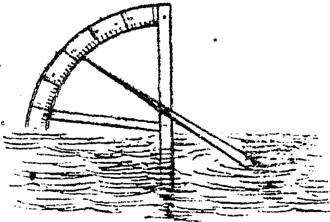
विजेच्या एकाच सरणीमध्यें निरनिराळ्या धातूंच्या लवणांचीं विद्रवें ठेवलीं, तर एकाच अवधींत निरनिराळ्या धातूंचे राशी कोणत्या प्रमाणांत बाहेर पडतील ? हा प्रश्न साहजिकच येथें उत्पन्न होतो. लंडनच्या रॉयल इन्स्टिटयूशनमधील रसायनी फॅराडे, यानें या प्रश्नासंबंधीं अनेक प्रयोग केले. त्यावरून असें उघडकीस आलें कीं, अशा प्रसंगीं विद्रवांतून बाहेर पडणाऱ्या धातूंच्या राशींचें प्रमाण, रसायन दृष्ट्या अगदीं साधें असतें. रसायनसंयोगाच्या बाबतींत विविध धातूंच्या राशींचीं जीं प्रमाणें आढळतात तींच, याही बाबतींत आढळतात. रसायन-दृष्ट्या, रौप्य आणि ताम्र यांचे जे ग्रास ठरलेले आहेत, तेच विजेच्या व्यवहारांतही लागू आहेत. रुप्याचा ग्रास १११.८ आणि ताम्राचा ३२.९४ आहे. खरोखरी १ कूलोमनें १.११८ मिलिग्राम रौप्य, आणि ०.३२९४ मिलिग्राम ताम्र, बाहेर पडतें. १ व १/३ हे वर दिलेले आकडे ठोकळ आहेत. फॅराडेचे नियम म्हणून दोन प्रसिद्ध आहेत ते असे. (१) वीज व विलेप यांचें समप्रमाण असतें. (२) विच्छेदनानें प्रकट होणारे ग्रास, आणि रसायनव्यापारांत प्रकट होणारे ग्रास, एकच असतात.

वहाळीचें माप

पाणवहाळ लहान झाली किंवा मोठी झाली असें सांगण्याचे प्रसंग वारंवार येतात. अशा प्रसंगीं नक्की माप आपण करीत नाहीं हें खरें, परंतु पाहिजेच असेल तर आपण सहज काढूं शकूं. मघाशीं बकेट तेव्हांच भरत होतें, आतां तें भरावयास अधिक वेळ लागत आहे, असें पाहून आपण वहाळ लहान झाली म्हणतों; किंवा आतां तितकाही वेळ लागत नाहीं, असें पाहून मोठी झाली असें म्हणतों. अर्थात् एक बकेटभर पाणी येण्यास इतका वेळ असें वहाळीचें माप करतां येईल, किंवा एका नेमक्या अवधींत इतकीं बकीटें भरून पाणी असेंही करतां येईल. याच धरतीवर विजेच्या वहाळीचेंही माप करता येईल हें उघड आहे. एका सेकंदांत एक कूलोम वीज वाहिली म्हणजे एक अंपियर (ओघ) वहाळ झाली असें सांगण्याचा प्रघात आहे. अंपीयर हा एक कुशल प्रयोगकर्ता विज्ञानी होता, त्यानें वहाळ मोजण्याची एक नामी युक्ति काढली म्हणून त्याचें नांव वहाळीच्या एकधेयास दिलें आहे.

वहाळ मोजण्याची निराळी युक्ति ती कशास पाहिजे? नेमका अवधि आणि त्यांत वाहात गेलेल्या विजेची यत्ता अशीं दोन मापें घेतलीं म्हणजे झालें, असें प्रथमतः वाटतें; परंतु अधिक विचार केला असतां ही रीत सोईची नाहीं असें कळून येतें. वहाळ मोजावयाची झाली कीं, विलेपनपात्र मधें खुपसा, तें कांहीं वेळ ठेवा, आणि त्याच्यांत घडलेला विलेप तोलकाट्यावर ठेऊन मोजा, केवढा हा खटाटोप? यापेक्षां सोपी रीत हवी. पाणवहाळ मोजणें असल्यास पाणवाटेत मापणी जोडा, तिच्यांत पाणी भरेल तें मोजा, ही रीत बरोबर असली तरी सोईची नाहीं. त्यापेक्षां पाणवाटेंत एक फळी

लोंबती ठेवा आणि ती पाण्याच्या लोंढ्यानें किती ढकलली जाते तें मोजा. ढकलल्यानें तिला जो कल पडेल त्यावरून एकदा साक्षात् वेध घेऊन वहाळीच्या मापाचे अंक मांडून ठेवा म्हणजे झालें.



आ. २२

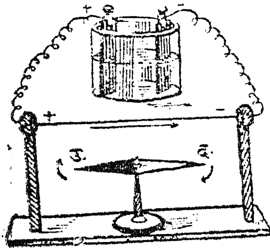
पुनः साक्षात् माप नको. ही जशी पाणवहाळ मोजण्याची युक्ति तशी वीजवहाळ मोजण्यासही एकादी युक्ति असणें इष्ट आहे. अशी एक युक्ति अँपीयर यास सांपडली.

तापन, दीपन आणि विच्छेदन, अशा तीन प्रकारें विजेच्या वहाळीचे परिणाम दृष्टोत्पत्तीस येतात, असें मागें सांगितलें आहे. पण यापैकीं कोणताच परिणाम वहाळीचें माप करण्याच्या सोईचा नाहीं. चवथा अगदीं वेगळ्या प्रकारचा परिणाम १८१९ मध्यें उघडकीस आला. त्याचा उपयोग अँपीयर यानें या कामीं करून घेतला.

वहादर्श

वीजयुगाचा आद्य प्रवर्तक गिलबर्ट यानें लोहचुंबक व वीजवन्त पदार्थ यामधील साम्य—वैषम्य दाखवून दिलें होतें. तथापि त्यावेळीं वीजवन्त पदार्थाविषयीं ज्ञान अगदींच तुटपुंजें होतें. पुढील दोनशें वर्षांत विजेच्या ज्ञानांत पुष्कळ भर पडली; परंतु लोहचुंबकाच्या गुणांचा फारसा अभ्यास कोणी केला नाहीं. एकोणिसाव्या शतकांत विजेचें सौम्य आणि वहातें स्वरूप उघडकीस आल्यानंतर लोहचुंबक आणि वीज यांच्या एकमेकांवरील परिणामाचें परीक्षण करण्याला अनुकूल काल आला.

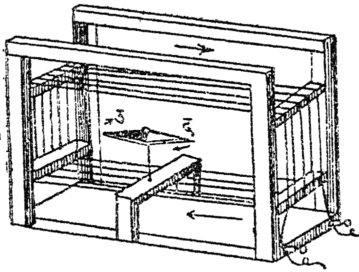
इ. स. १८१९ मध्यें अर्स्टेड नामक एक वास्तवाध्यापक व्याख्यान देण्याचें काम करीत असतां, पुढें जवळच एक दिक्सूची लोंबत होती; आणि तिच्याच खालीं एक तांब्याची तार असून, तेथें एक विजेरीही ठेवलेली होती. सहज-गत्या त्यानें तारेचीं अग्रें विजेरीच्या अग्रांना जोडली. त्याबरोबर लगेच ती सुई झोका खाऊन पूर्वपश्चिम रेषेकडे वळली. विजेची वाट तोडल्या-बरोबर ती आपल्या पूर्वीच्या जागीं आली. सुई ढळली ती विजेरी जवळ असल्यामुळें नव्हे, तर विजेची वहाळ तिला समांतर वाहिल्यामुळें ही गोष्ट प्रथमतः अर्स्टेडनें निदर्शनास आणून दिली. वहाळीची दिशा आणि सुईची वलनदिशा, यांचा संबंध त्यानें नक्की तपासून सांगितला; तो असा:—सूचीला समांतर पण तिच्या खालून विजेची वहाळ उत्तरेकडून दक्षिणेकडे वहात जात असली तर सुईचें उत्तर-मुख पश्चिमेकडे वळतें. वहाळ उत्तर— दक्षिणच, पण वाहिका खालीं न धरतां सूचीच्या वर समांतर धरली, तर तेंच उत्तरमुख पूर्वेकडे वळतें.



आ. २३

वीजवहाळ दिक्सूचीच्या वरून दक्षिणोत्तर आणि पुनः खालून उत्तरदक्षिण अशी वाहूं द्यावी म्हणजे सहजच तिचा सुईवरील परि-णाम म्हणजे पिळवट दुणावेल आणि अशा वहाळीचा एकच वेढा देऊन न थांबतां तसेच कित्येक वेढे देत जावें म्हणजे तितक्या पटीनें सुईवरील पिळवट वाढत जाईल ही गोष्ट अगदीं साधीच

खरी पण ती उघडकीस येण्याला आणखी एक वर्ष लोटलें.

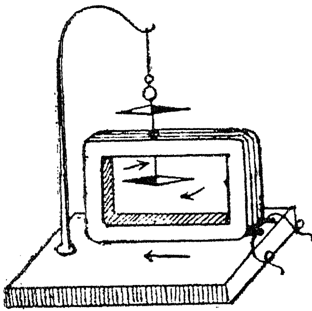


आ. २५

ती प्रथम १८२० त श्वायगर यास सुचली व अशा रीतीनें पहिला वहादर्श तयार झाला.

ओघमापन

त्याच्या पुढील वर्षीं म्हणजे इ.स. १८२१त वहाळींचें मापक बनविण्याचें श्रेय अंपीयर यांस मिळालें, तें असें. पृथ्वीच्या चुंबकीय ओढींत दिक्सूची नेहमीं


आ. २६

वागत असते. तिला त्या ओढींतून सोड विली तर आपणास इष्ट त्याच वीज-वहाळीची ओढ पूर्ण प्रभावी होईल, असें मनांत आणून त्यानं वहादर्शाच्या रचनेंत सुधारणा केली; ती अशी:—एकच लोंबती दिक्सूची व भोंवतीं तारेचें गुंडाळें असें न घेतां, त्यानें दोन समबल सुया घेतल्या. त्या एकमेकींस समांतर पण त्यांचीं उत्तर—दक्षिण अग्रें मात्र समोरासमोर अशा ठेवून, मध्यावर एका पट्टीनें एकीशीं एक जखडून घेतल्या. मग या सांगडींतली एक सुई, एका उभ्या तारेच्या गुंडाळ्याचा आंतमध्यें राहील, आणि दुसरी मात्र वरतीं राहील, अशी व्यवस्था केली. अशा व्यवस्थेमुळें पुष्कळच सुचल सुग्रहण किंवा सुभ्रण म्हणा, वहादर्श करतां येऊं लागला.

या साधनांतील इंगित असें आहे कीं, दोन सुयांच्या मधून वाहणारी वहाळ दोनही सुयांना एकाच दिशेस वळवते. शिवाय सुयांच्या खालून वहाणारी वहाळ, खालच्या सुईला त्याच दिशेस वळवते. फक्त वरच्या सुईला ती विरुद्ध दिशेस वळवते; परंतु ही सुई खालचींच्या समान बळाची पण अधिक दूर असल्यामुळें तिजवरील पिळवटीचें मान कमी असतें, म्हणून तें प्रभावी होत नाहीं. या योजनेंत, पृथ्वीची एका सुईवरील ओढ दुसरीवरील ओढीच्या विरुद्ध दिशेंत आणि तितक्याच यत्तेची असल्यामुळें, ती मुळींच प्रभावी होत नाहीं; म्हणून एकंदर सांगडीचें वळण केवळ वीजवहाळींच्या प्रमाणांत राहतें. एकदा ताम्रविलेपी ओघमापकाच्या सरणींत ठेऊन ओघावरून वलन मापून घेतलें म्हणजे झालें. नंतर पुढील प्रसंगीं वलनावरून ओघाचें माप अपोआप ठरतें.

प्रश्नावलि

डानियलच्या मोरखडी विजेरीची रचना कशी असते? व्होल्टा विजेरीपेक्षां मोरखडी विजेरी कोणत्या बाबतींत अधिक चांगली असते? विजेची यत्ता कशानें मोजतात? विजेची वहाळ कशी मोजतात? कूलोम हें कशाचें माप आहे? फॅराडेचे विच्छेदन-नियम कोणतें?

एकाद्या दिक्सूचीला समान्तर आणि तिच्या वरून दक्षिणेकडून उत्तरेकडें वीज वाहणारी तार आणली तर सुईवर काय परिणाम होतो? हा परिणाम कोणकोणत्या रीतीनें वाढवितां येईल? ओघमापन करण्याकरितां सुयांची सुचल सांगड कशी तयार करतात?

प्रकरण ७

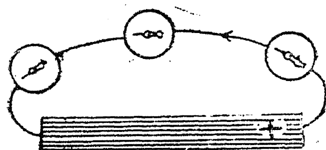
कर्षरेषा.

जड सृष्टीमध्यें आकर्षण म्हटलें म्हणजे दोन गोष्टी मनांत येतात, एक पृथ्वीचें लहानमोठ्या पदार्थावरील आकर्षण, आणि दुसरें लोहचुंबकाचें लोहावरील आकर्षण. पहिल्याचा पद्धतशीर अभ्यास ग्यालीलिओनें आरंभिला आणि न्यूटन यानें त्याचाच विकास करून आकर्षण हें केवळ पार्थिव नव्हे तर ग्रहमाला व सूर्य इत्यादिकांतही आहे असें दाखवून दिलें. ग्यालीलिओच्या काळीं डॉ. गिलबर्ट यानें लोहचुंबकाचें आकर्षण अभ्यासून, आपला भूगोल हा एक मोठा अयस्कान्त आहे, असें आपलें मत प्रतिपादन केलें. विजेचा अभ्यास गिलबर्टनेंच आरंभिला; परंतु विजेचें आकर्षण आणि अयस्कान्ताचें आकर्षण, यांतील आकर्षण या गुणांतील शाब्दिक साम्याखेरीज, त्यांत कांहीं गूढ अर्थ आहे, किंवा या दोन आकर्षणांचा कांहीं संबंध आहे असें त्याच्या मनांत आलें नाहीं. तसेंच तें त्याच्या मागूनसुद्धां दोन शतकेंपर्यंत कोणाच्या मनांत आलें नाहीं. वीज आणि लोहचुंबक यांत कांहीं साम्य आहे, ही गोष्ट एकोणिसाव्या शतकांत उघडकीस आली. मायकेल फराडे यानें तिचा बारकाईनें अभ्यास केला आणि दाखवून दिलें कीं, लोहचुंबकाच्या भोंवतीं कर्षरेषांचा परिवार असतो तसाच तो वीज वाहणाऱ्या तारेभोंवतींही असतो. आधुनिक भौतिक शास्त्र आणि मानवी उद्यम, या दोहोंमध्यें कर्षरेषांचा अभ्यास हा फार उपयोगाचा ठरला आहे. कसा तो येथून पुढें आपण पाहूं या.

ज्या रेषेंत आकर्षण चालू असतें ती रेषा म्हणजे कर्षरेषा. गुरुत्वाकर्षणासंबंधीं बोलावयाचें तर, एकादा पदार्थ सुटा असतांना

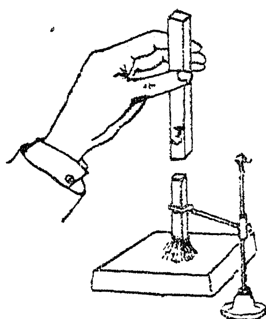
ज्या रेषेत भुईकडे ओढला जातो ती रेषा म्हणजे कर्षरेषा होय. लोहचुंबकासंबंधीं बोलावयाचें तर, लोहचुंबक ज्या दिशेंत लोह ओढतो, ती रेषा म्हणजे चुंबकीय कर्षरेषा होय. पृथ्वीवरील कोणताच पदार्थ पृथ्वीच्या ओढींतून सुटला नाहीं, तसा स्वतः एकादा लोहचुंबकही सुटलेला नाहीं. लोहचुंबकाची पट्टी किंवा गज, जें काय आपण घेऊं तें, पृथ्वीकडे ओढलें जाणारच. तसेंच लोहचुंबकाची ओढ ज्यावर असावयाची, त्या लोहखंडावरही पृथ्वीची ओढ असावयाचीच. शिवाय त्यांना लागून असलेल्या पदार्थांची घसट हीही असणारच. म्हणून चुंबकीय कर्षरेषांचा तपास करणें असल्यास, चुंबकीय कर्षणानें पदार्थाची जी चाल व्हावयाची तिला दुसरा व्यत्यय न व्हावा, झाला तरी तो अतिशय थोडा व्हावा, याकरतां खास व्यवस्था करणें अवश्य आहे.

लोहचुंबकाचा स्वभाव समजून घेण्याकरतां, आपण दोन युक्त्या पूर्वीं योजल्या आहेत. एक त्याला बिनपिळाच्या दोऱ्यानें आडवा टांगणें; आणि दुसरी त्याला एकाद्या सुळावर, टोकदार खुंटावर, आडवा तोलून ठेवणें. एका मोठ्या लोहचुंबक पट्टीच्या सभोंवार अशाच लहान लहान लोहचुंबक सुया ठिकठिकाणीं ठेवल्या तर, त्या कोणत्या रेषेंत स्थिर राहतात तें पाहून, आपणास कर्षरेषांचा नकाशा मिळूं शकेल. सभोंवार मांडण्याच्या सुया लोहचुंबक नसल्या, साध्या लोहाच्या असल्या, तरीही हरकत नाहीं. मोठ्या लोहचुंबकाच्या क्षेत्रांत त्या स्वतः लोहचुंबक बनतात, असेंच निदर्शनाला येतें. ताटलींत लोखंडाचा कीस ठेवला आणि चुंबकपट्टी वर धरली, तर थोडक्याशा अंतरा-

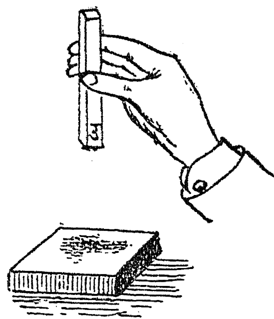


आ. २६

वरून ती कीस उचलूं शकते. त्याहून अधिक अंतरावरून ती कीस उचलूं शकत नाहीं. तथापि पट्टी व कीस यामध्यें एकादा



आ. २७



आ. २८

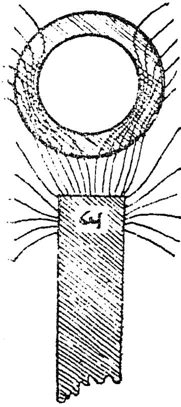
लहानसा लोहाचा तुकडा उचलून धरला म्हणजे, पूर्वीपेक्षा अधिक अंतरावरून ती लोहाचा कीस उचलूं शकते, असा अनुभव येतो. लोहखंड पट्टीला चिकटल्यावर, ती पट्टीच जणू लांबल्यासारखी होते.

एकादा लोहचुंबक तोडला तर काय होईल ? असा प्रश्न येथें साहजिकच उद्भवतो. लोहचुंबकाला लोहखंड जोडला तर एक मोठा लोहचुंबक तयार होतो. उलट लोहचुंबक तोडला तर, अनेक छोटे छोटे पण उत्तर दक्षिण टोकें असलेले पूर्ण लोहचुंबक तयार होतात, असें अनुभवास येतें. (आ. ३१)

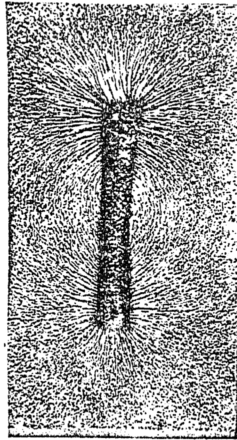
कर्षरेषांचे नकाशे काढण्यास लोहाचा कीस सोईस्कर आहे. एका पांढऱ्या पाटावर लोहचुंबकपट्टी ठेवावी आणि सभोंवार लोहाचा कीस पसरावा. किसांतले केसर कर्षरेषांच्या मेळांत येण्यास मोकळे असावे म्हणून, पाटावर बोटानें टिचक्या माराव्या. त्यामुळें केसर वर उडतात आणि लगेच खालीं पडतात. पण पाटाच्या घर्षणापासून त्यांना जी क्षणिक मोकळीक मिळते, तेवढ्या

मोकळीकीनें ते कर्णरेषांच्या मेळांत येतात आणि खालीं पडतात. पडल्यानंतर त्यांची ज्या रेषांत मांडणी झालेली दिसते, त्याच कर्षरेषा होत. अशा रीतीनें कर्षरेषा तपासल्या असतां, पुढील गोष्टी स्पष्ट होतातः——

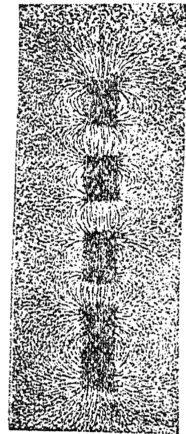
कर्षरेषा वळणदार असतात. त्या उत्तर—दक्षिण मुखांमध्यें कमानीसारख्या पसरलेल्या असतात. कर्षरेषा मध्यापेक्षां अग्राकडे



आ. २९



आ. ३०



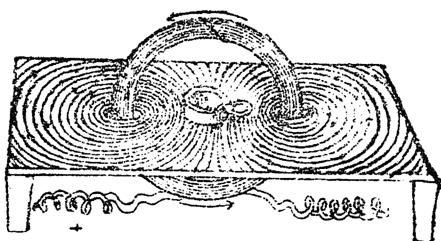
आ. ३१

अधिक दाट असतात. कर्षक्षेत्रांत लोहाचा तुकडा असल्यास कर्षरेषांचा मोठा झोत त्यांतून घुसतो. लोहाचें कडें कर्षक्षेत्रांत असल्यास त्याच्या अंगांतून कर्णरेषा घुसतात, पण कड्यानें वेढलेल्या मोकळ्या जागेंत कर्षरेषा मुळींच उमटत नाहींत.

वीज वाहणाऱ्या तारेभोंवतीं कर्षरेषा असतात, ही गोष्ट अर्स्टेटच्या प्रयोगानें प्रथम ध्यानांत आली. या प्रयोगाची बातमी समजल्याबरोबर फॅराडेच्या मनांत कल्पना आली कीं, वीजवाही

तारेच्याभोंवतीं देखील कर्षरेषांचा परिवार असला पाहिजे. कल्पना आली कीं प्रयोगानें तिची प्रचीति पहावयाची, ही शोधकांची रीत. त्या रीतीप्रमाणें फॅराडेनें नानाविध प्रयोग करून पाहिले. त्यांपैकीं कांहीं थोडे सोईस्कर रूपांत येथें वर्णन करूं या.

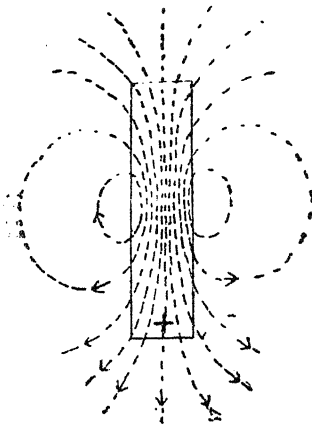
आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एका पांढऱ्या पाटावर मध्यभागीं वीजवाही तारेचे दहावीस सोईचे वेढे बसवावेत. तारेंत वीज



आ. ३२

सोडावी, आणि भोंवतालीं लोहाचा कीस टाकून बोटानें टपटप करावें. थोडक्याच वेळांत कर्षरेषांचा व्यूह प्रकट होतो. लोहचुंबक पट्टीभोंवतालच्या कर्षरेषांच्या व्यूहाशीं त्याचें कांहीं साम्य दिसतें आणि कांहीं भेदही दिसून येतो. विचारपूर्वक पाहिल्यास असें ध्यानांत येतें कीं, हा तारवेढ्यांचा जुडगा म्हणजे एक अतिशय चपटा लोहचुंबक असून त्याचें उत्तर किंवा दक्षिण मुख आपणांकडे पहात आहे. कर्षरेषांचा व्यूह लोहचुंबक गजाचा असतो तसाच आहे. फक्त गजाची लांबी व्यासापेक्षांही कमी झालेली आहे, किंवा थोडक्यांत सांगावयाचें म्हणजे, अयस्कान्त चकती आपणां-पुढें मांडलेली आहे. तिचें धनमुख आपणांकडे आहे कां ऋणमुख आपणांकडे आहे तें पहावयाचें. असल्यास, कर्षक्षेत्रांत एकादी

दिक्सूचीच ठेवली पाहिजे हें उघड आहे. लोहचुंबकाच्या बाहेर कर्षरेषांचा मांड कसा असतो तें पूर्वीच्या नकाशावरून समजलें; परंतु त्याच्या अंतरंगांत रेषांची रचना कशी असते तें कळण्याला मार्ग नव्हता. आतां येथें या तारेच्या वेढ्यांच्या अंतरंगांतही रेषा दिसत आहेत. हाच दृष्टान्त घेऊन लोहचुंबकाच्या अंतर्बाह्य कर्षरेषांचा नकाशा काढला तर, तो शेजारच्या आकृतींतल्या प्रमाणें होईल.



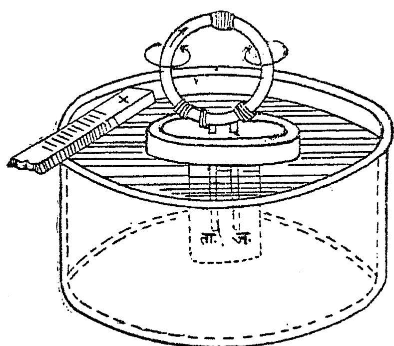
आ. ३३

याप्रमाणें वहाळकड्याचें आणि लोहचुंबकाचें किती निकट साम्य आहे हें आपण पाहिलें. आतां हेंच साम्यदर्शन दृढ करण्याकरितां असा प्रयोग करून पहावा:—

साधी जस्त-तांब्याची विजेरी कशी करावयाची हें आपणांस माहीत आहेच. तशी एक लहानशी विजेरी एका लहानशा काचपात्रांत तयार करावी. या काचपात्राला आकृतींत दाखविल्या-प्रमाणें पाण्यावर तरतां येईल अशा प्रकारचें एक हलकें लाकडी थारोळें जोडलेलें असावें. त्या काचपात्राला एक बूच लावून त्यांतून तें जस्तातांब्याचे पत्रे आंतील गंधिकाम्लाच्या विरघळ्यांत सोडलेले असावेत; व बाहेर एक * तारेचें कडें त्या जस्तातांब्यावर उभें

* तार .०३६ " जाडीची आणि सवेष्टण असावी. तिचें सहन साधारण ५ 'ओघ ' इतकें असावें. कड्याचा व्यास आंत आंत ४ ".

बसविलेलें असावें. याप्रमाणें ही विजेरी आणि तिला जुपलेलें वहाळ-कडें संथ पाण्याच्या डोणींत सोडून द्यावें. तें तरत राही-लच, पण थोडक्यांतच असें दिसून येईल कीं, त्या कड्याचें विवक्षित अंगच उत्तरेकडे वळेल आणि दुसरें दक्षिणेकडे वळेल. शेवटीं तें स्थिरावेल तेव्हां कड्याचा अक्ष उत्तरदक्षिणेंत येऊन राहिलेला आढळून येईल.



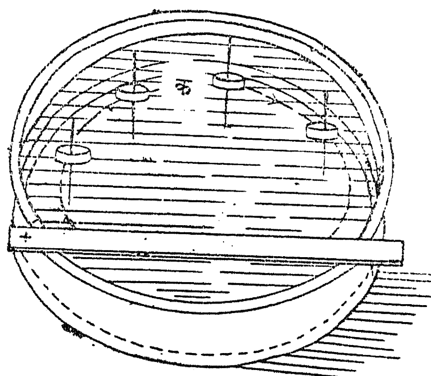
आ. ३४

लोहचुंबकाप्रमाणें त्याला दुपाखीपणा असल्याचें कळून येईल. हातांत एक लोहचुंबक घेतल्यास, त्याच्या उत्तरपक्षाकडे कड्याची एक विवक्षित बाजूच वळूं शकते, दुसरी त्याच्यापासून तोंड फिरविते हें स्पष्ट दिसून येईल. सवड दिल्यास असें दिसून येईल कीं, **कडें लोहचुंबकावर चपकन् ओवल्यासारखें अगदीं विषुवा-वर येऊन राहतें, आणि त्या वेळीं त्या दोघांचेही उत्तर किंवा घनपक्ष एकाच बाजूला येऊन, त्यांचा कर्षव्यूह अगदीं बरोबर जमेसा 'संवादी' होऊन राहतो. दोहोंची मिळून एकच सदिश आणि सपक्ष अशी व्यवस्था बनून जाते.**

आतां या कर्षरेषांच्या कल्पनेला आणखी दृढ करण्याकरतां पुढील साधा प्रयोग करून पहावा.

एक काचेचें पातेलें घेऊन पाण्यानें भरावें, आणि त्याच्या वर एक लोहचुंबकपट्टी आडवी ठेवावी. नंतर चुंबक बनविलेली एक पोलादी सुई घेऊन एका बुचाच्या चकतींत

टोचावी; आणि आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें 'क' या ठिकाणीं पाण्यावर सोडून द्यावी. म्हणजे आढळून येईल कीं तिचें धन टोक जर वर असेल तर ती पट्टीच्या ऋण टोकाकडे ओढून



आ. ३५

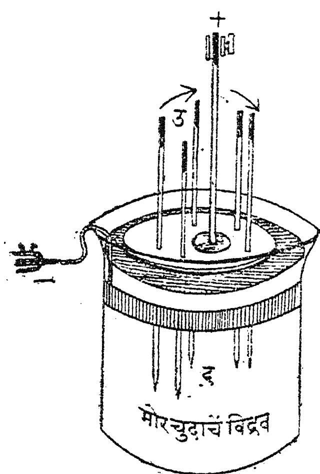
नेली जाईल, पण सरळ रेषेंत न जातां कंसमार्गानें जाईल. क येथेंच पण दुसरें म्हणजे ऋण टोंक वर करून सुई ठेविली तर, आतांही ती मघांच्या कंसमार्गानेंच जाईल; पण मघांच्या उलट दिशेनें म्हणजे पट्टीच्या धन टोकाकडे जाईल.

वीजवहाळीच्या भोंवतीं कर्षरेषांचा स्रोत.

आतां, वीजवहाळीच्या भोंवतींही कर्षरेषांचा परिवार असतो म्हणून पहिल्यांदाच म्हटलें आहे त्याचा अनुभव पाहूं. एक वाटोळी बुचाची चकती घेऊन, तिच्या मधोमध एक वाटोळें भोक ठेवावें; आणि त्याच्या भोंवतीं एका वर्तुळांत चार लोहचुंबक सुया, आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें खुणी (उत्तरदर्शी) टोकें वर केलेल्या अशा, अर्ध्या खुपसून बसवाव्या. एक बरणी घेऊन तिच्यांत मोरचुदाचा विरघळा भरावा, आणि तिच्या आंतल्या काठासरसें, एक तांब्याच्या पत्र्याचें कडें, आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसवावें. आतां एक जाडशी

तांब्याची तार घेऊन तिच्या एका टोकाला तांब्याच्या पत्र्याचें गुंडाळें बसवावें, आणि ती त्या बुचाच्या मधोमध ठेविलेल्या भोकांतून ओवून घ्यावी. उपकरण आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जुळवून घ्यावें. जाड तारेच्या भोंवतीं बूच सुयांसह मोकळेपणीं फिरूं शकेल अशी योजना असावी.

नंतर एक आठ दहा व्होल्ट क्षितिभेदाची विजेरी घेऊन वीज-वाट पुरी करावी; म्हणजे वीजवहाळ विजेरीच्या धन टोकापासून निघून तारबंदानें उभ्या तारेच्या वरच्या टोकाला पोहोंचेल. तेथून ती त्या तारेनें खालीं तांब्याच्या गुंडाळ्यापर्यंत, तेथून मोरचुदाच्या विरघळ्यांतून काठालगतच्या तांब्याच्या कड्यापर्यंत, आणि तेथून पुनः तारबंदानें विजेरीच्या ऋण टोकापर्यंत, याप्रमाणें सारखी चक्री चालू राहील.



आ. ३६

याप्रमाणें वीजवहाळ चालू होतांच असें दिसून येईल कीं, बूच सुयांसह वाटोळें वाटोळें उभ्या तारेच्या भोंवतालीं गिरक्या घालूं लागतें. प्रथम मंदगतीनें सुरुवात होते, पण पुढें ती गति वाढते, आणि एकसारख्या गिरक्या चालू राहतात. सुयांचीं उत्तरटोकें वर करण्याऐवजीं दक्षिण टोकें वर केलीं, किंवा सुया होत्या तशाच ठेवून वीजेच्या वहाळीची दिशा पालटली तर सुया उलट दिशेनें फिरतात. या चमत्कारावरून कर्षरेषांचा चांगला प्रत्यय येतो.

प्रकरण ८

विजेची घण्टा आणि विजेऱ्या.

किती छोटेखानी चीज ! किती साधी, किती सोपी, किती अल्पमोली, पण किती कार्यतत्पर, किती दक्ष, किती चलाख व किती उपयोगी वस्तू ही ! आखुडशिंगी बहुदुधी गाय न मिळो पण बिनहातापायाचा अत्यंत चलाख दूत मिळूं शकतो. आपली वीजघण्टा ही अशीच दूती आहे, नव्हे का? एका लहानशा बरणींत, थोडेंसें नवसागर आणि किंचित् जस्त, एवढा खाऊं दिला कीं पुरे. बसायला जागा एकादा कोनाडा पुरे झाला. काम सांगाल तेव्हां करायला तयार. वर्दी म्हणाल तेव्हां, चुटकीसरशी, एका क्षणाचाही विलंब न लावतां पोचविण्याची हमी. आणखी काय पाहिजे ?

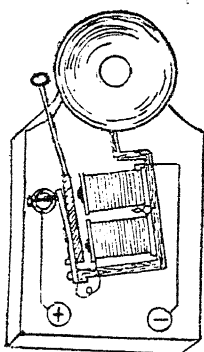
वैद्युत लोहचुंबक

जस्त, नवसागर, तांबें, लोखंड, रेशिम, यांचा उपयोग करून ही चीज बनवलेली असते. ती बनवण्यांत कारागिरीही फार नाहीं. असें असतां तिचा जन्म एकोणिसाव्या शतकांत, इतक्या उशिरा कां झाला ? पूर्वींच्या लोकांना काय माहीत नव्हतें म्हणून त्यांना ही प्रयुक्ति करतां आली नाहीं ? योजकाला कोणती योजना अपूर्वाईची होती ? नरम लोहाच्या भोंवतीं वीज वहात असतांना, त्यांत लोह आकर्षून घेण्याचा गुण येतो; पण विजेचें वाहणें थांबलें कीं, त्यांतला हा गुण जातो, या गोष्टींचें ज्ञान अपूर्व होतें. विजेची झरीच मुळीं १८०० पर्यंत निघालेली नव्हती. त्यानंतर १९ वर्षांनीं विजेची वहाळ आणि लोहचुंबक यांचा कांहीं संबंध आहे अशी सूचना मिळाली. नंतर यासंबंधाचा तपास करण्याकडे विद्वानांचें लक्ष्य लागलें, तेव्हां ४।५ वर्षांनीं ही गोष्ट उघडकीला

आली. स्टर्जन नावाच्या एका इंग्रजाला हा शोध लागल
विद्वान् हेनरी, यानेंही प्रस्तुत विषयांत बरीच काम
या शोधकांना असें कळून आलें कीं, विजेच्या योगानें
बनतो त्याचें बळ, भोंवतालच्या विजेचा ओघ आणि
वेढे, या दोहींवर अवलंबून आहे. ओघ कायम ठेवून नुसते वेढे वाढवल्यानें बळ वाढतें. नवसागरी विजेरीचा क्षितिभेद थोडा असतो ओघही थोडाच असतो. पण घंटेंतील लोहाच्या नालाभोंवतीं वेढे पुष्कळ देऊन, त्याला बळ आणण्याची योजना करतात.

घंटेची रचना

विजेच्या घंटेंतील विशेष योजना म्हणजे लोहचुंबकाचीच. मऊ लोहाच्या दोन कांड्या शेजारीं शेजारीं ठेवून, त्यांचे शेजारशेजारचे एकेक टोक, तिसऱ्या एका तसल्याच लोहाच्या कांबीनें



आ० ३७

जोडलेलें असतें. यालाच नाल म्हणावयाचें. याचे दोन बाहू म्हणजेच त्या कांड्या. कांड्यांच्याभोंवतीं तांब्याच्या तारेचे वेढे दिलेले असतात. या तारेचे एक टोक घंटेवर टोला देणाऱ्या हातोडीस भिडविलेलें असतें, या हातोडीमध्यें एक तणावपट्टी असते. या पट्टीच्या तणावामुळें हातोडी एका वळसूत्राला ठेपून राहते. तारेंतून वीज वाहूं दिली म्हणजे नाल लोहचुंबक होतो, आणि त्याची ओढ तणावपट्टीच्या ओढीपेक्षां मोठी होऊन, हातोडी नालाकडे खेचली जाते. असें झालें कीं हातोडीची गोळी घण्टेच्या वाटीवर आपटते. परंतु त्याच वेळीं विजेची वहाळ तुटते, नालाचें चुंबकत्व नाहींसें

होतें, आणि हातोडी त्याच्या ताब्यांतून सुटून तणावेच्या ताब्यांत जाते. मग वीजवहाळीला पुनः वाट मिळते, पुनः नाल लोहचुंबक होतो, इत्यादि क्रिया पुनः पुनः घडतात.

कृत्रिम लोहचुंबक

आल्यागेल्याची वर्दी देणाऱ्या घंटेंतल्या लोहचुंबकांचें सामर्थ्य अगदीं अल्प. मोठा नाल, मोठी वहाळ आणि पुष्कळ वेढे, वापरले म्हणजे महासामर्थ्यवान् लोहचुंबक होऊं शकतात. खंडोगणती लोहाचीं ओझीं उचलण्याकरितां असे मोठमोठाले लोहचुंबक आज वापरण्यांत आहेत. लोखंडाचे तुकडे इतर पदार्थांत मिसळून गेले असले तर, ते निवडून काढण्यामध्येंही लोहचुंबक वापरण्यांत आहेत. प्रस्तुत प्रकारचा वीजवहाळीच्या छापेंतला लोहचुंबक, पुष्कळ प्रसंगीं, पक्क्या लोहचुंबकापेक्षां फार सोईस्कर असतो. कारण कोणतीही मांडामांड फारशी न बदलतां, केवळ एकादी कळ दाबून किंवा खिट्टी हालवून, वीजवहाळ चालू करता येते किंवा थांबवता येते. अर्थात् त्याबरोबरच लोह ओढण्याचा गुण उत्पन्न होतो किंवा नाहींसा होतो. लोहाचे तुकडे उचलून घेण्याला पक्का लोहचुंबक चांगलाच असतो; परंतु त्यानें उचललेले तुकडे त्याच्यापासून हिसकून घेतल्याशिवाय जागेवर ठेवतां येणार नाहींत. लोहाच्या नालानें, सांगूं तेव्हां हुकमाबरोबर, लोह उचलावें; आणि सांगूं तेव्हां सोडावें, अशी व्यवस्था विजेच्या योगानेंच साध्य होते.

विजेच्या योगानें तात्पुरता लोहचुंबक तयार होतो एवढेंच नाहीं, तर पक्का लोहचुंबकही तयार होतो. लोहचुंबकपणा टिकाऊ होईल किंवा नाहीं तें त्या लोहखंडाच्या जातीवर अवलंबून आहे. लोहामध्यें कार्बन (अर्व) आणि टंग्स्टेन (तुंग), किंवा इतर धातु मिश्र असल्या म्हणजे, त्यांत चुंबकत्व टिकून राहतें. तात्पुरते आणि

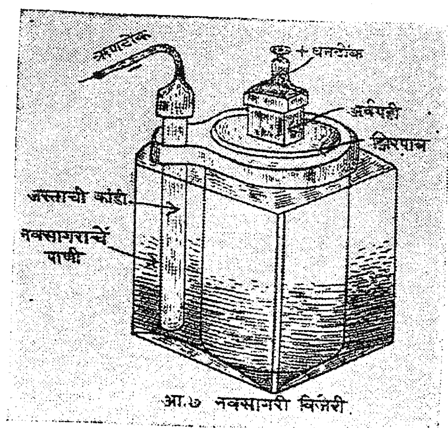
टिकाऊ लोहचुंबक, दोनही आपापल्या परी उपयोगी आहेतच; म्हणून यासंबंधीं बरेंच संशोधन झालेलें आहे, आणि चालूही आहे. साधारणपणें जे लोहचुंबक तात्पुरते असें म्हणतात, त्यांच्यात भोंवतालची वीजवहाळ थांबवल्यावर कांहीं काळ थोडेसें चुंबकत्व शिलक राहिलेलें आढळतें. उलट जे लोहचुंबक पक्के म्हणतात त्यांचें चुंबकत्व थोडें थोडें कमी होत असल्याचें आढळतें. हल्लीं पक्के लोहचुंबक करावयाचे, ते विजेच्या वहाळीचा कांहीं वेळ संस्कार घडवूनच करण्याचा प्रघात आहे.

मागील प्रकरणांत आपण पाहिलें आहे कीं, ज्यांतून वीज वाहते असें तारेचें कडें हा लोहचुंबकच असतो; त्याच्या भोंवतीं कर्षरषांचा परिवार असतो. वहाळकडें हें लोहचुंबक चकतीसारखें असतें. एकादा गज किंवा पट्टी घेऊन त्याभोंवतीं तारेची वळवट (वलयांची आवलि) तयार केली, आणि तिच्यांत वीजवहाळ सोडली म्हणजे ती, लोहचुंबक चकत्या शेजारी शेजारी मांडून एक पट्टी तयार केल्यासारखीच असते; कारण एकाद्या लोखंडी लोहचुंबकाभोंवतीं जसा कर्षरेषांचा परिवार असतो, तसाच तो या वळवटींभोंवतीही असतो. वळवटीच्या आंतही कर्षरेषा असतात, तेथेंच लोह असलें म्हणजें त्यांत कर्षरेषांची दाटी होते. आतां या वळवटींतही वीजवहाळ बंद झाल्यावर, कर्षरेषा विसकटून जाणें न जाणें हें त्या लोहाच्या जातीवर अवलंबून राहतें. नरम लोहांत त्या टिकून रहात नाहींत, कडक लोहांत टिकून राहतात.

नवसागरी विजेरी

विजेची घंटा चालवण्यास नवसागरी विजेरी फार सोइस्कर आहे. ही विजेरी लेक्लांच यानें प्रथम तयार केली. एका काचेच्या बरणींत नवसागराचा विरघळा ठेवतात. त्यामध्यें एक झिरपाऊ पात्र उभें करतात. त्याच्या आंत मध्यभागीं एक अर्वकाण्ड आणि सभों-

वार मंजपाषाणाचें चूर्ण अशी व्यवस्था असते. झिरपात्राबाहेर विरघळ्यामध्यें जस्ताची कांडी उभी करतात. विजेरीच्या धनऋणा-



आ.७ नवसागरी विजेरी.

आ. ३८

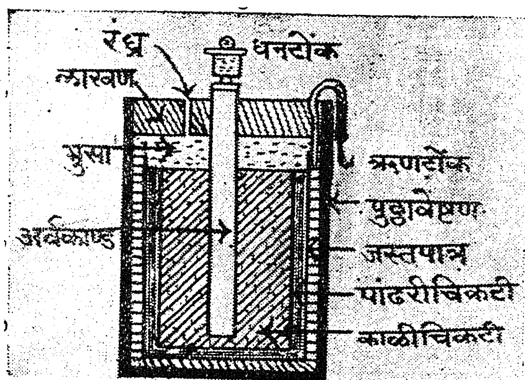
मधील वाट बाहेरून पुरी केली म्हणजे नवसागर-विरघळ्यांत जस्त जिरतें. नवसागर हें अमोद-हरक असतें, त्यायोगें जस्तहरक आणि अमोद अशी जोडी तयार होते. त्यापैकीं अमोद हा खंड अर्व-काण्डाकडे जातो. तेथें तो फुटून नत्र व उज्ज हें वायू निर्माण होण्याचा संभव असतो. या वायूमुळें वीज वाहण्यास आडचण होते. तशी ती होऊं नये म्हणून मंजपाषाणाची योजना असते. मंज-पाषाण म्हणजे मंजोर्वक (MnO_2) असतें. त्याच्या योगानें अमोद दल (NH_4) पाण्यांत जिरून जातें. जस्त ऋण, आणि अर्व वन, होतें. या विजेरीचा क्षितिभेद १॥ व्होल्ट असतो. परंतु विजेरींतून ीज घ्यावयास लागल्यावर थोड्या वेळानें, तो कमी कमी होत होत घटकाभरांत शून्याजवळ येतो. यामुळें ही विजेरी संथपणें बराच ळ वहाळ घेण्याला उपयोगी नाहीं. परंतु हाच तिचा गुण घंटेच्या ामाला विशेष सोईचा आहे. घंटा अगदीं थोडा वेळच चालवा-

वयाची असते. नवसागरी-विजेरींतून वीजवहाळ घेतली नाहीं तर ती फारशी झिजत नाहीं. हा तिचा टिकाऊपणाही फायद्याचाच आहे. मधून मधून अगदीं थोडा वेळ थोडकेसें काम घेण्यालाच ती विशेष उपयोगी आहे.

वर सांगितलेल्या स्वरूपाची विजेरी पुष्कळ दिवस वापरतां येते. अर्व झिजत नाहीं. जस्त, मंजपाषाण, व नवसागर, हीं सावकाश खपतात. पाणी मात्र लवकर उडून जातें, तेवढें वेळोवेळीं नवें भरावें.

सुकी विजेरी

हीं नवसागरी विजेरी हल्लीं सुकी विजेरी म्हणून फार प्रचारांत आली आहे. ओल्या विजेरीपेक्षां सुकी विजेरी प्रवासाला फार सोईस्कर असते. तथापि ती महाग असल्यामुळें अडचणीच्या किंवा प्रवासाच्या प्रसंगींच वापरणें योग्य आहे. सुकी विजेरी नुसती



आ० ३९
पांढरी चिकटी:– कणीक, प्लास्तर ऑफ पॅरिस, नवसागर, व जस्तहरक, यांचें मिश्रण.
काळी चिकटी:— मंजपाषाण (मंजाद्वि-धोर्कक), कोळसा. भुकटी, नवसागर, जस्तहरक, यांचें मिश्रण.

नांवालाच सुकी असते. खरोखरी तिच्या आंत नवसागराच्या विद्रवानें भिजवून तयार केलेलें कापड अर्वकांडीच्या भोंवतीं गुंडाळलेलें असतें, आणि तें कोरडें पडूं नये म्हणून वरून मेणचट पदार्थ

लपेटून जस्ताचें वेष्टण लाखबंद करून ठेवलेलें असतें. शिवाय वरती कागदी वेष्टणें भरपूर असतात. आंतल्याआंत जस्ताअर्वांचा संपर्क होऊं नये म्हणून खबरदारी घेतलेली असते. चुकून असा संपर्क झालाच तर, आंतल्या आंत वहाळ चालते, बाहेर मिळत नाहीं, विजेरी खपत राहते. वरती जी दोन पितळीं पानें, धन ऋण म्हणून बाहेर काढलेलीं असतात, तीं अलग राखावीं लागतात, तीं एवढ्यासाठींच.

नत्रिक व लालखडी विजेऱ्या

आणखी एक दोन प्रकारच्या विजेऱ्या, पूर्वी बऱ्याच प्रचारांत होत्या; परंतु हल्लीं फारशा प्रचारांत नाहींत. रॉबर्ट बनसेन या प्रसिद्ध रसायनवेत्त्यानें एक विजेरी तयार केली, तिला बनसेन विजेरी म्हणतात. या विजेरींत धन ऋण टोकें, अर्व (कोळसा) आणि जस्त यांचींच असतात. जस्ताभोवतीं गंधिकाम्ल असतें. अर्वा-भोंवतीं मात्र नत्रिकाम्ल असतें. नत्रिकाम्लानें उज्जाचें ऊर्वण होतें म्हणजे उज्ज-ऊर्व मिळून पाणी होऊन जातें; परंतु नत्रोर्वक वायु उत्पन्न होतो, तो पाण्यांत विरघळून राहतो. पाण्याच्या पृष्ठभागा-पासून मात्र तो वायु थोडा थोडा वर निघतो; त्याची दुर्गंधि येते.

आणखी एक प्रकारची विजेरी आहे. तिच्यांत उज्जवायु नाहींसा करण्याकरतां, लालखडी नामक एका पिवळस लाल रंगाच्या लवणाचें विद्रव वापरतात. धन—ऋण द्रव्यें, अर्व आणि जस्त अशींच असतात. अर्व व जस्त यांच्या पट्ट्या करून त्या, गंधिकाम्ल व लालखडी (पालाशाद्विधारंजिक $K_2 Cr_2 O_7$), यांच्या विर-घळ्यांत बुडवून लोंबत ठेवण्याची व्यवस्था असते. या विजेरींतून दुर्गंध येत नाहीं. या विजेरींतून बाहेर वीज घेत नसतांना देखील तिच्यांतील जस्त झिजत राहतें. तसें होऊं नये म्हणून, जस्तपट्टी

विद्रवांतून वर उचलून ठेवण्याची व्यवस्था असते. या विजेरीस लालखडी विजेरी म्हणतात.

बनसेनची नत्रिक विजेरी आणि दुसरी लालखडी विजेरी, यांचे क्षितिभेद २ व्होल्टच्या सुमारास असतात, हा त्यांचा विशेष गुण आहे. या विजेऱ्या बराच वेळ संथपणें वहाळ देऊं शकतात.

विजेरी वापरण्यांत नसली म्हणजे जस्त फारसें झिजत नाहीं असें नवसागरी विजेरींतच; म्हणून तीच घंटेच्या कामीं विशेष सोईची आहे. इतरांमध्यें जस्ताची झीज वांचविण्याकरतां, तें विद्रवांतून बाहेर काढावें लागतें. असा खटाटोप थोडथोड्या आणि वरचेवर लागणाऱ्या कामाला उपयोगी नाहीं. तो एका दमांत पुष्कळ वेळ काम घेणें असेल तर पतकरण्यास हरकत नसते.

प्रश्नावलि

लोहचुंबकाच्या कर्षरेषा म्हणजे काय? त्यांची मांडणी कशी असते? ती कशावरून ठरवतात? लोहचुंबकाच्या कर्षक्षेत्रांत लोहाचें कडें टाकलें तर, त्याच्या कर्षरेषांच्या मांडणीवर काय परिणाम होतो?

विजेच्या घंटेची रचना कशी असते? तिच्या वर्तनाचें विवरण कसें करावें? वैद्युत लोहचुंबक कसा तयार करतात? त्याचें बल कशा कशावर अवलंबून असतें? कृत्रिम लोहचुंबक कसे करतात?

सुकी विजेरी, नत्रिक विजेरी, लालखडी विजेरी, यांचे गुणावगुण कोणते? त्यांत मालमसाला काय काय वापरतात?

प्रकरण १

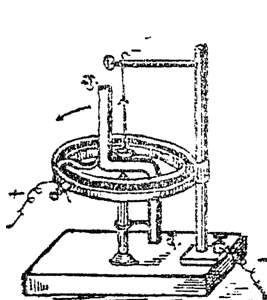
वीज-युगाचा आरंभ.

पुष्कळ वेळां चालू नव्या युगाला यंत्रयुग असें म्हणतात, पण खरें पाहिलें तर यंत्रयुग केव्हांच जुनें झालें आहे. यंत्र ही आजच्या काळांत नवी चीज नाहीं. चौदाव्या पंधराव्या शतकांतही यंत्रें वापरण्यांत होतीं. सोळाव्या सतराव्या शतकांत यांत्रिक कला आणि विज्ञान यांचा पुष्कळ विकास झाला. बहुत प्रकारचीं यंत्रें निघालीं. अठराव्या शतकांत उद्यमी लोकांनीं त्यांच्या साह्यानें उद्यम वाढवले, व्यापाऱ्यांनीं व्यापार वाढवला, आणि क्षत्रियांनीं राज्यें वाढवलीं. यंत्रामध्यें अद्यापीही वाढ होतच आहे, पण आजच्या युगाला 'यंत्रयुग' हें नांव शोभत नाहीं. एकोणिसाव्या शतकाच्या आरंभीं वॅट यानें वाफेच्या इंजनांत अपूर्व सुधारणा केल्या, आणि वाफेचें सामर्थ्य वापरण्याचें एक उत्तम साधन उद्‍मी लोकांच्या हातीं दिलें; तेव्हां वाफेचें युग सुरू झालें. वाफेचें सामर्थ्य आजही वापरण्यांत आहे, परंतु आजचें युग हें वाफेचें युग नव्हे. आजचें युग हें विजेचें युग आहे. एकोणिसाव्या शतकांत, यंत्र चालविण्याला घोड्याऐवजीं वाफेचा विनियोग प्रचारांत आला; पण आज बहुतांशीं वाफेच्या जागीं विजेचा विनियोग होत आहे. मायकेल फॅरॅडे हा वीजयुगाचा प्रवर्तक होय.

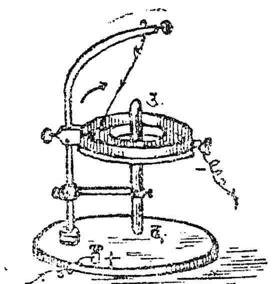
चलित्र

सन १८२१ मध्यें फॅराडेनें एक प्रयोग केला. त्यांत त्यानें लोहचुंबकाच्या एका टोकाजवळून वीज वहात नेली, तेव्हां तो लोहचुंबक त्या वीजवहाळीभोंवतीं फिरूं लागला. (आ० ४०) या प्रयोगाची

छोटीशी सोईस्कर अनुकृति ७ व्या प्रकरणाच्या शेवटीं वर्णिली



आ० ४०



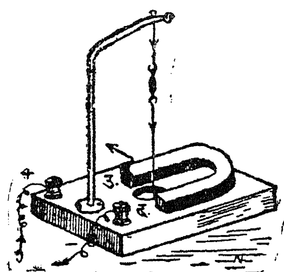
आ० ४१

आहे. लवकरच फॅराडेनें दुसरा एक प्रयोग केला. त्यांत त्यानें लोहचुंबक उभा करून एका खुंटाला पक्का खिळून ठेवला, त्याच्या कंबरेभोंवतीं एक वाटोळी खळी तयार केली, ती पाऱ्यानें भरली, आणि तिजमध्यें वरून एक तार लोंबत ठेवली. नंतर विजेची वहाळ वरच्या तारेंतून खळ्याकडे सोडून, खळ्यांतून माघारी नेण्याची व्यवस्था केली. त्याबरोबर ती वीजवाही तार लोहचुंबकासभोंवार फिरूं लागली.

वीजवाही तार आणि लोहचुंबक यामध्यें ओढ असते. तिजमुळें तारेला सवड असेल तर तार हालते, आणि चुंबकास सवड असेल तर तो हालतो, असें यावरून उघड झालें.

लोहचुंबक आणि लोह यामधील ओढा उभयपक्षीं असतो. दोघांना हालावयास सवड असली तर दोघेही एकमेकांजवळ येतात, एकालाच सवड असली तर एकच हालतो, या गोष्टी पुष्कळ परिचयाच्या आहेत. एका बुचावर लोहचुंबक आणि एकावर लोह, असे दोनही पाण्यावर तरंगत सोडले, तर दोनही एकमेकांकडे ओढ घेऊन एकमेकांस भिडतात, हें उदाहरण स्वयंस्पष्टच आहे.

आतां एक लोहचुंबक नाल घ्यावा, तो आकृतींत दाखविल्या-प्रमाणें एका पाटावर मांडावा, त्याच्या टोकांमध्यें पाटांत एक खळी असावी, त्या खळींत पारा भरून त्यांत एक तांबेतार लोंबती सोडावी, आणि तिच्यांत वरून खाली वीज वहात सोडावी. म्हणजे वहाळ सुरू होतांच, ती झटके बसल्यासारखी बाजूस उड्या मारते, असा देखावा दिसतो. वीज वाहूं लागतांच तारेला टिचकी मारल्यासारखें होऊन ती खळींतून निसटते, त्याबरोबर वहाळ बंद पडून तार खळ्यांत पडते, कीं पुनः तिला टिचकी मिळते, हें तर उघडच



आ० ४२

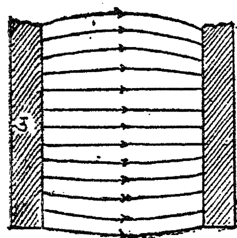
आहे. लोहचुंबक काढून टाकला तर तार स्थिरावते, पण उत्तरदक्षिण अग्रांची उलटापालट करून तो ठेवला, तर मघाच्या विरुद्ध दिशेंत टिचकी खाते असा अनुभव येतो. पाऱ्याच्या खळींत एकच तार लोंबत ठेवण्याऐवजीं, जर चाकाच्या अऱ्याप्रमाणें जुळलेला तारांचा जुडगाच ठेवला तर काय होईल? एक तार उडाल्याबरोबर तिच्या जागीं दुसरी येईल; आणि ती उडाली कीं तिच्या जागीं तिसरी येईल. याप्रमाणें सर्व तारा एकामागून एक उडवल्या जातील, आणि त्यांच्या ऐवजीं जर एकादें चाक ठेवलें तर तें गरागर फिरूं लागेल. असें चाक विजेच्या योगानें फिरत राहणें, म्हणजे विजेची गिरणी चालणेंच होय.

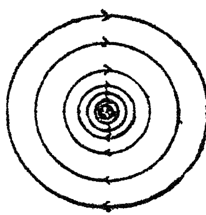
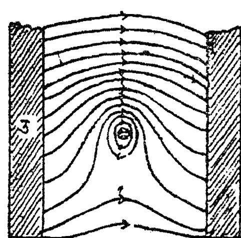
फॅरडेची छोटी विजेची गिरणी १८२१ त चालू झाली. त्या वेळीं विजेच्या योगानें चलन उत्पन्न होणें ही गोष्ट फारच नवलाईची होती. तोंपर्यंत माणसाच्या किंवा जनावराच्या शक्तीनें, किंवा

धबधब्याच्या योगानें, चलन उत्पन्न करणें: ही जुन्या यन्त्रयुगांतली व्यवस्था, आणि वाफेच्या जोरानें यन्त्रें चालवणें ही नवी व्यवस्था, याखेरीज तिसरी व्यवस्था कोणाच्या मनांतही आली नव्हती; मग अनुभवांत येणें तर दूरच राहिलें. वाफेनें चाक फिरवतां येतें तसें विजेनेंही येतें हें पाहून फॅरडेचा आनंद गगनांत मावेनासा झाला. फॅरडेच्या वेळीं विजेरी हेंच काय तें वाहती वीज मिळवण्याचें साधन होतें. मोठ्या लौकिक व्यवहाराच्या दृष्टीनें तें महागच, तेव्हां तें कारखान्यांत मोठ्या कामाकरतां वीज उत्पन्न करण्याच्या उपयोगाचें नाहीं. वीज सुलभ होईपर्यंत विजेच्या गिरणीचाही उपयोग नाहीं हें उघडच होतें. तथापि फॅरडे हा व्यापारी दृष्टीचा माणूस नव्हता. तत्त्वदृष्ट्याच ही गोष्ट त्याला फार महत्त्वाची वाटली. म्हणून त्याच गोष्टीचा ध्यास त्यानें चालू ठेवला. वरील प्रयोगाचें रहस्य फॅरडेनें उकलून सांगितलें तें असें.

उपपत्ति

लोहचुंबक नालाच्या कर्षरेषांचा व्यूह आ० क प्रमाणें असतो. मागें दिलेल्या प्रयोगावरून असें दिसून येतें कीं, वीजवहाळी-





आ० ४३ क ख ग

भोंवतालच्या कर्षरेषा आ० ४३ ख प्रमाणें असतात. वीज वाचकाकडून

पुस्तकाकडे वहात आहे असें धरून नकाशा रेखाटला आहे. नकाशांतील बाणांचीं टोकें, उत्तरेकडून दक्षिण अग्राकडे रोखलेलीं आहेत. आतां हे कर्षव्यूह एकमेकांत मिसळले म्हणजे, वीज वाहणाऱ्या तारेभोंवतालच्या कर्षरेषा, एका अंगास प्रबळ होतात तर दुसऱ्या अंगास दुर्बल होतात; कारण एका अंगास दोहींच्या दिशा * एकच तर दुसऱ्या अंगास त्या विरुद्ध असतात. म्हणून प्रबळ अंगाच्या कर्षरेषा दुर्बल अंगाकडे तारेला ढकलून देतात. आ० ४३ ग.

हें विवरण किती साधें आणि सोपें आहे ! लोहचुंबकाच्या उत्तरमुखांतून दक्षिणमुखाकडे कर्षपाश पसरलेले आहेत, तसेच वाहिके भोंवतींही आहेत. वीजेची वहाळ, आपल्या फुंकरासारखी आपल्या समोर आपणापासून दूर चालली असली तर, तिच्या भोंवतीं वरती डावीकडून उजवीकडे, आणि खालीं उजवीकडून डावीकडे, कर्षपाश पसरलेले आहेत. एवढ्या दोन गोष्टी मनांत बिंबल्या पाहिजेत, म्हणजे ढकलाढकल कशी व कां होते हें समजणें कठीण नाहीं. साधी बेरीजवजाबाकी आली कीं पुरे. एका अंगास बेरीज व दुसऱ्या अंगास वजाबाकी होते. दुर्बलाला गचांडी मिळते, हें तर उघड सत्यच आहे. हें विवरण जरी सोपें असलें—आणि तें तसें असलें तरच त्याला विवरण हें नांव शोभतें—तरी तें बसल्याबसल्या मात्र सुचावयाचें नाहीं. पुष्कळ प्रायोगिक अनुभव घेऊन त्याचें मनन केलें पाहिजे. म्हणजे मग असें विवरण सुचतें.

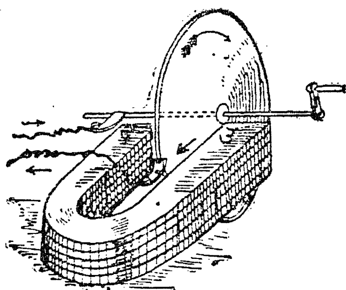
जनित्र

वरील सर्व प्रयोगांमध्यें, विजेच्या वहाळीच्या योगानें स्थूल हालचाल उत्पन्न झाल्याचें दिसून आलें आहे. या पुढचा प्रश्न असा

---

* कर्षरेषा उत्तर टोकाकडून दक्षिण टोकाकडे जातात असा संकेत आहे.

आहे कीं, स्थूल हालचालीनें विजेची वहाळ उत्पन्न होईल काय? वरील प्रयोगाचा व्यत्यास करतां येईल कीं नाहीं? हा प्रश्न फॅरॅडेनें १८३१ त सोडवला. त्यानें एका लोहचुंबक नालाच्या अग्रांमध्यें एक तांब्याचें चाक फिरतें ठेवण्याची व्यवस्था केली, आणि चाकाची धाव आणि आस यांत तारा जोडून त्या वहादर्शाला जोडल्या, तेव्हां तारेंतून वीज वहात असल्याचें स्पष्ट दिसून आलें. हें पहिलें जनित्र, म्हणजे विजेला जन्म देणारें साधन. या साधनाचा उपयोग करण्याकरतां आपण जर हातानें चाक फिरवीत असलों तर हाताला



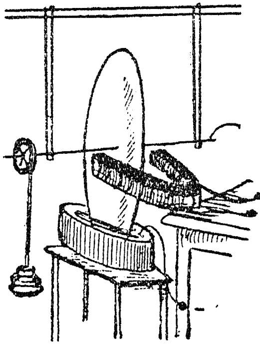
आ० ४४

असें स्पष्ट कळून येतें कीं, चाक लोहचुंबकाच्या क्षेत्रांत असल्यामुळें तें फिरविण्याला विशेष बळ खर्चावें लागत आहे. लोहचुंबकाच्या क्षेत्राबाहेर तेंच चाक फिरवण्याला एवढी शक्ति लागत नाहीं. पायगाडीचा दिवा लावण्याकरतां, हल्लीं गाडीच्या चाकावर जनित्र* चालविण्याची व्यवस्था असते. अशी गाडी चालविणारास हें स्पष्टपणें कळून येतें कीं, नुसती गाडी चालविण्यापेक्षां जनित्रासह ती चालवण्यास शक्ति अधिक खर्चावी लागते.

वीजेची वहाळ उत्पन्न होतांना शक्तिव्यय होत आहे, ही गोष्ट निःशंकपणें पटवून देण्याला एक सोपी व्यवस्था करतां येण्याजोगी

* या जानित्रामध्यें लोहचुंबक नालामध्यें चाकाऐवजीं एक तारेची गुंडाळी फिरत ठेवण्याची योजना असते.

आहे ती अशी. पक्का लोहचुंबक घेण्याऐवजीं हुकमी लोहचुंबक घ्यावा; म्हणजे असें कीं नरम लोहाचा नाल घेऊन, त्यावर सोईच तारेचे वेढे घालून, त्यांत पाहिजे तेव्हां वीज सोडतां येईल अशी व्यवस्था करावी. चाकाच्या आसावर एका दोरीचें एक टोक अडकवून दोरी गुंडाळावी, आणि तिच्या दुसऱ्या टोकाला वजन बांधावें. वजन मोकळें सोडतांच चाक फिरूं लागतें. आतां एकदां चाक फिरतांना वीज सोडावी आणि एकदां थांबवावी, एकदां लोहचुंबक क्षेत्र उत्पन्न करावें आणि एकदां करूं नये; म्हणजे कळून येईल कीं, क्षेत्र असतांना चाक मंदपणें फिरतें, परंतु तें नसतांना चाक झपाट्यानें फिरतें. प्रथमतः नवी वीज उत्पन्न होत असते आणि दुसऱ्यांदा नसते, हेंच या वेगभेदाचें कारण असलें पाहिजे.



आ० ४५

उपपत्ति

जनित्र हा केवळ चलित्राचा व्यत्यास आहे. सामग्री तीच. फक्त एकदां चलन देऊन विजेची शक्ति (विद्युत्तेज) घ्यावयाची, तर एकदां विद्युत्तेज देऊन चलन-शक्ति घ्यावयाची, हा दोहोंचा संबंध आहे. प्रयोग पाहिल्यानंतर हा संबंध उघडकीस येतो; परंतु प्रयोगापूर्वीं तो गूढच असतो. म्हणून तर तो शोधून काढावा लागतो. फॅरडेनें हे प्रयोग करून दाखविले. तोंपर्यंत स्थूलशक्ति आणि विजेची शक्ति—ही सूक्ष्म असल्यामुळें तिला विद्युत्तेज असें नांव देणें बरें—यांचें परस्परांत रूपान्तर होऊं शकतें हें माहीत

नव्हतें. शक्तीच्या रूपांतराचें पहिलें उदाहरण वर्चसी शक्तीचें. उंचीमुळें पदार्थांत असलेली शक्ति वेगीय शक्तीचें रूप धारण करते, हा पहिला अनुभव; आणि उष्मशक्तीचें वेगीय शक्तींत होणारें रूपान्तर हा दुसरा अनुभव; एवढे दोनच अनुभव फॅरॅडेच्या वेळीं पूर्वार्जित होते. विद्युत्तेजासंबंधाचा अनुभव, त्यानें आणून दिला तोच पहिला. असें असल्यामुळेंच चलित्र तयार झाल्यानंतर जनित्र प्रकट होण्याला पुरीं दहा वर्षें लोटलीं. जनित्र जन्मास आलें त्यावेळीं शक्तिसंक्रमाविषयीं विचार फॅरॅडे आणि इतर शास्त्रज्ञ यांच्या मनांत येऊं लागले होते; पण ते परिणत व्हावयास वीस वर्षांचा काळ जावा लागला.

कर्षरेषांच्या कल्पनेनें फॅरॅडनें जनित्राची उपपत्ति लावली ती अशीः—**कर्षरेषा दाबल्या, काटल्या, किंवा इतर कोणत्याही रीतीनें बिघडवल्या, म्हणजे या बिघाडाविरुद्ध परिणाम करणाऱ्या नव्या रेषा उत्पन्न होतात;** म्हणजेच या नव्या कर्षरेषांच्या मांडणीला अनुरूप वीजवहाळ होईल असा क्षितिभेद उत्पन्न होतो. उदाहरणार्थ आ० ४३ क मधील कर्षरेषा ग मधील ↓ बाणाच्या विरुद्ध दिशेनें कापीत गेल्यास, ख याप्रमाणें नवें क्षेत्र उत्पन्न होतें.

प्रश्नावलि

चलित्र म्हणजे काय? अगदीं साध्या चलित्राची रचना कशी असते? त्याच्या वर्तनाचें विवरण कसें करतात?

जनित्र म्हणजे काय? अगदीं साध्या जनित्राची रचना कशी असते? त्याच्या वर्तनाचें विवरण कसें करतात?

वेगीय शक्तीपासून वैद्युत शक्ति उत्पन्न होते हें दाखवण्यास अगदीं सोपा प्रयोग कोणता?

प्रकरण १०

उद्यमी वीज.

१८२१ त फॅरडेनें चलित्र तयार केलें, परंतु जनित्र तयार करण्याची युक्ति त्याला १८३१ पर्यंत सुचली नाहीं. विजेच्या व्यवहारांत जनित्र आणि चलित्र यांच्या इतकेंच महत्त्वाचें तिसरें एक साधन आहे, त्याचें नांव रोहित्र. जनित्राच्या अगोदर रोहित्र फॅरडेच्या हातीं लागलें. विचार करतां करतां त्यांतील तत्त्व आकलन झालें आणि मग जनित्राची रचना सुचली. जनित्र, चलित्र व रोहित्र, हीं तीन साधनें सिद्ध झाल्यानें विजेचा उपयोग उद्यमामध्यें सहजच होऊं लागला. हें कसें काय घडून आलें, तें थोडक्यांत पाहून घेऊं या.

प्रयोग

फॅरडेला जनित्राची रचना फार दिवस सुचली नाहीं त्याचें कारण असें कीं, चलनशक्तीनें वीज मिळवावी असें त्याच्या मनांतच आलें नाहीं. त्याची सर्व खटपट केवळ लोहचुंबकानें वीजवहाळ द्यावी अशाकरतां चाललेली होती. वीजवहाळीनें लोहचुंबक निर्माण होतो तर उलट लोहचुंबकानें वीजवहाळ कां होऊं नये ? या प्रश्नाचा विचार त्याच्या मनांत सतत घोळत असे. लोहचुंबकाच्या शेजारीं त्याच्या आसपास त्याच्या वेढ्यांत नाना प्रकारें



आ० ४६

तारांचें कडें ठेवून पाहिलें, परंतु त्यांतून वीज वाहिल्याचें कदापि दृष्टीस पडलें नाहीं. एकदां त्यानें असें केलें कीं, लोहाचें एक कडें

घेऊन त्यावर सवेष्टण, तारांच्या दोन वळवटी वेढून घेतल्या. एकींत वीज वाहात सोडतां यावी अशी व्यवस्था केली, आणि दुसरींची वीजवाट पुरी करून त्या वाटेंत वहादर्श गोवून दिला. एका तारेंत वीज सोडावी म्हणजे सहजच लेाहाचें कडें लोहचुंबक बनेल आणि मग पहावें दुसऱ्यांत कांहीं वीज-वहाळ येते का? अशा विचारानें ही रचना केलेली होती.

अशी रचना केल्यावर पहिल्या कड्यांत वीज सोडावी, बराच वेळ वाहूं द्यावी, आणि मग बंद करावी, असें अनेक वार करून पाहिलें; तेव्हां प्रथमतः त्याची निराशाच झाली. दुसऱ्या तारेंत वीज वाहिल्याचें चिन्ह दिसेना. वहादर्श विशेष सुचल करून पुनः प्रयोग केले. तेव्हांही बहुतेक निराशाच, पण थोडी आशा बाळगण्यास कारण घडलें, तें असें. पहिल्या कड्यांत वीज वहात असतांना तर दुसऱ्यांत मुळींच वहाळ नव्हती, यांत शंकाच राहिली नाहीं. पण प्रथमेंत वहाळ सुरू होतांना, दुसऱ्या तारेंत एक क्षणभर आणि ती बंद होतांनाही तशीच एक क्षणभर पण उलट दिशेंत, याप्रमाणें वहाळ येत असल्याचें स्पष्टपणें दिसून आलें. हा काय चमत्कार आहे? हा एक नवीनच प्रश्न उत्पन्न झाला. पण संथपणें विचार करतांना तो सुटला. इतकेंच नव्हे तर त्यानें मागले न सुटलेले सारे प्रश्न भराभर सुटले. दोन तीन महिन्यांच्या अवधींत, आधुनिक विद्युत्शास्त्राची भूमिका तयार झाली.

दृष्टान्त

प्रथमेभोंवतीं कर्षरेषा मांडतांना, आणि मांडलेल्या पुसून टाकतांना, द्वितीयेंत वीज वाहते; परंतु त्या मांडलेल्या स्थिर आहेत तोंवर, द्वितीयेंत वीज येत नाहीं. एकादा मोठा धोंडा शेजारी असला किंवा आपण अगदीं त्या धोंड्याला लगत असलों तरी त्याचा प्रतिरोध आपल्याला कळत नाहीं; त्याच्यापासून आपल्याला शक्ति

घेतां येत नाहीं. परंतु आपण त्याला ढकलूं लागलों अथवा तो वेगांत असतां त्याला थोपवूं लागलों कीं, त्याचा प्रतिरोध आपल्याला कळतो. तो स्थिर असला तर चालवावयास आयास पडतात, चालतां असल्यास स्थिरावावयास आयास पडतात. एकादी ताणतार किंवा ताणपट्टी नुसती जवळ असून उपयोगी नाहीं. तिच्यावर दाब टाकावयास पाहिजे, तेव्हांच ती आपणाला विरोध करील. बाणानें दोरी खेचली आणि धनुष्य वांकविलें, म्हणजे तें बाणाला फटकारा देऊं शकतें.

उद्भावन-तत्त्व

प्रथमेभोंवतीं कर्षरेषा मांडतांना द्वितीयेभोंवतीं तद्विरोधी कर्षरेषा उत्पन्न होतात, म्हणजेच वाहिकेंत क्षितिभेद उत्पन्न होतो आणि त्यानें वीजवहाळ चालते. पण एकदां प्रथमेभोंवतीं कर्षरेषा सिद्ध झाल्यानंतर विरोधाचें कारण रहात नाहीं, क्षितिभेद संपतो. पुनः कर्षरेषा पुसून टाकतांना त्याही विरुद्ध नव्या कर्षरेषा उद्भवतात, पण एकदा पहिल्या रेषा पुसल्यानंतर विरोधाचें कारण राहात नाहीं, नव्या कर्षरेषा लोप पावतात.

जनित्रांतील क्षितिभेदाची उत्पत्ति सुद्धां याच विचारसरणीनें विशद करतां येतें. लोहचुंबकाच्या कर्षरेषा सतत दाबीत गेल्यानें सतत तद्विरोधी कर्षरेषा उत्पन्न होत राहतात. दाब नाहींसा झाला कीं नव्या कर्षरेषा नाहींशा होणार हें ठरलेलेंच आहे. म्हणून एकादी वाहिका पहिल्या कर्षक्षेत्रांतील कर्षरेषा काटीत जाईल तोंवरच तिच्यांत क्षितिभेद येईल, एरवीं नाहीं. कर्षरेषांच्या अनुरोधानेंच वाहिका फिरविली तर क्षितिभेद उत्पन्न होत नाहीं, असा अनुभव येतोही. कर्ष-रेषांशीं हिसकाहिसकी केली तरच क्षितिभेद उत्पन्न होणें शक्य आहे, एरवीं नाहीं. ताणतारेवरून उशी, उत्साह, वर उडी, घेतां येण्यास

आपण ती तार खालीं दाबली पाहिजे. आपण आपल्याच बलानें उडी मारतों खरी पण तसें करण्याला दुसऱ्या पदार्थाचा आधार घ्यावा लागतो. तसेंच हेंही आहे. शेवटीं आपल्या चलन-शक्तीचेंच रूपांतर वैद्युत शक्तींत होणार, पण तसें व्हावयास कर्षरेषांचा आधार अवश्य पाहिजे. वेगीय शक्तीपासून उष्मा उत्पन्न होतो, पण दुसऱ्या एकाद्या पदार्थाशा धडक मिळाल्याखेरीज नाहीं. उलट उष्मतेजापासूनही वेगीय शक्ति उत्पन्न होते, पण त्याही प्रसंगीं दुसऱ्या पदार्थावर उष्मा टाकण्याची संधी मिळाली पाहिजे.

कर्षरेषांत चाळवाचाळव केल्यानें क्षितिभेद उत्पन्न करणें या क्रियेस **उद्भावन** असें म्हणतात.

रोहित्र

उद्भावनासंबंधीं जो प्रयोग वर वर्णन केला आहे, त्यांत वापरलेल्या उपकरणांस रोहित्र असें नांव आहे. रोहित्र म्हणजे उतरण्याचढण्याचें साधन, घडवंची. रोहित्र असें नांव देण्याचें कारण असें. या साधनांतील लोहाभोंवतीं प्रथमेंतील वेढे आणि द्वितीयेंतील वेढे ज्या प्रमाणांत असतात त्याच प्रमाणांत त्यांतील क्षितिभेद असावयाचा असा नियम आहे. क्षितिभेद दुप्पट पाहिजे असला तर प्रथमेच्या दुप्पट द्वितीयेंत वेढे ठेवावेत, आणि निमपट पाहिजे असेल तर प्रथमेच्या निमपट द्वितीयेंत वेढे ठेवावेत म्हणजे झालें. वाटेल तर क्षितिभेदाचा आरोह करावा. वाटेल तर अवरोह करावा.

साधनत्रयी

जनित्र, चलित्र आणि रोहित्र हीं विजेच्या व्यवहारांतील आद्य साधनें आहेत. एकाद्या धबधब्यावर पाणचक्कीच्या साहाय्यानें किंवा कारखान्यांत वाफेच्या इंजनाच्या साहाय्यानें जनित्र चालवतात तेथें वैद्यत शक्ति उत्पन्न होते. ही शक्ति जेथें वापरावयाची असते

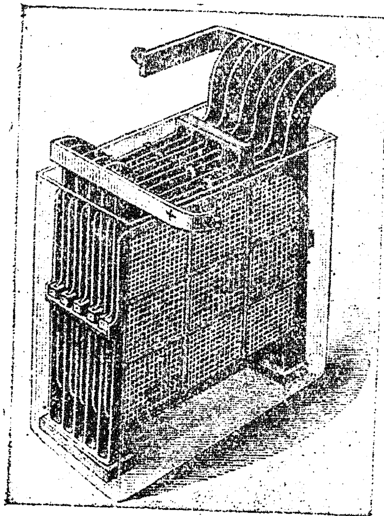
तेथपर्यंत ती पोचवावयास मोठ्या दाबाची वहाळ असणें सोईचें असतें. वहाळीचा दाब हा क्षितिभेदानें उत्पन्न होतो म्हणून रोहित्र लावून क्षितिभेद वाढवून घेतात. पुनः विनियोगाच्या ठिकाणीं मोठा दाब धोक्याचा असतो म्हणून तो उतरवून घ्यावा लागतो. तेथेंही रोहित्राचा उपयोग करतात. प्रत्यक्ष कारखान्यांत उचलासाचल करून घेण्याकरतां चलित्र वापरणें अवश्य असतें.

साठवण विजेरी.

जनित्र हें थोडक्या खर्चानें वैद्युत तेज उत्पन्न करण्याचें साधन आहे. विजेरी हें त्याहून अधिक खर्चिक साधन आहे, परंतु तें अधिक सोईचें आहे. वैद्युत तेज पाहिजे असेल तेव्हां जनित्र चालवावें लागतें, तें आपसुख वैद्युत तेज देणार नाहीं. विजेरींत जस्त, अम्ल वगैरे द्रव्यें भरून ठेवलीं म्हणजे तीं संपेपर्यंत तिच्यापासून वैद्युत तेज मिळूं शकतें, तसें जनित्राचें नाहीं. साठवण विजेरी म्हणून एक प्रकारची विजेरी आहे. तिच्यांत जनित्रानें वैद्युत तेज भरतां येतें, आणि तें पुढें आपसुखपणें पाहिजे तेव्हां मिळूं शकतें. जनित्राची स्वस्ताई आणि विजेरीची सोय, या दोहींचा संगम या साठवणींत झालेला आढळतो.

या विजेरीस दोनही तोंडाला दोन शिशाचे पुठ्ठे असतात, व मध्यंतरीं गंधिकाम्लाचा विरघळा असतो. धन तोंडाच्या पुठ्ठ्यावर शिशाच्या भस्माचा लेप (PbO_2) बसवलेला असतो. बाहेरून वीजवाट पुरी करून दिली म्हणजे शीसभस्म अम्लांत जिरतें, शीसगंधिक तयार होतें आणि गांधिकाम्लांतील उज्ज शीसभस्माशीं विक्रिया पावून, तेथें शिसें आणि पाणी यांची उत्पत्ति होते; शीसभस्म संपलें म्हणजे विजेरी खपून गेली, असें म्हणावयाचें. आतां तिच्यांत वैद्युत तेजाचा भरणा करण्याकरतां जनित्र किंवा

साधी विजेरी याशीं तिचा जोड करावा. जनित्राचीं किंवा विजेरीचीं धन—ऋण तोंडें, साठवणीच्या धन—ऋण तोंडास जोडावीं, म्हणजे ऋण पुठ्ठयावर शीसकण जमतात आणि धन पुठ्ठ्यावर शीसभस्म तयार होतें, आणि त्याच्याचबरोबर नवें गंधिकाम्लही तयार होतें. भरणा झाल्यावर, विजेरी पुनः पहिल्यासारखें वैद्युत तेज देण्यास सज्ज झाली म्हणावयाची.



आ० ४७

या विजेरीच्या प्रत्येक पुडाचा क्षितिभेद १.८ ते २ व्होल्ट इतका असतो.

प्रश्नावलि

रोहित्र म्हणजे काय? त्याच्या वर्तनांतील तत्त्व कोणतें? साठवण विजेरी म्हणजे काय? तिच्यांत पुडागणिक क्षितिभेद किती असतो?

प्रकरण ११

विद्युत्तेज.

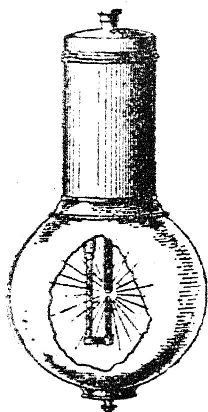
विजेचा दिवा

विजेला ' विद्युत् ' हें जें नांव आहे त्यामध्यें विजेच्या दीपन-सामर्थ्याचा उल्लेख आहे. ढगांत चमकणारें जें विजेचें स्वरूप प्रथमतः माणसाच्या नजरेस येतें, तें वास्तविक दीपन स्वरूपच आहे. परंतु या दीपनाचा परिणाम माणसाला भेवडावण्यांत मात्र होतो, मानवी व्यवहार सुरळीतपणें चालवण्यांत होत नाहीं. व्होल्टानें जेव्हां सौम्य स्वरूपांत वीज पैदा करण्याची युक्ति साधली, तेव्हां त्या विजेकडून दिवे लावून घेण्याची शक्यता उत्पन्न झाली. विजेला वाहण्याला तांब्याच्या तारेची वाट करून दिली, आणि मध्येंच बारीकशी फट ठेवली, तर त्या फटींतून वीज उडी मारून जातांना चमकते हें लवकरच दिसून आलें. १८०८ मध्यें लंडन येथील रॉयल इंस्टिटयूशन या संस्थेंत सर हंफ्रे डेव्ही यानें २००० पेल्यांची एक होल्टाविजेरी केली. तिच्यांतून वीज घेऊन तिच्या सरणींत दोन कोळशाच्या कांड्या आणि त्यामध्यें एक फट अशी त्यानें योजना केली. प्रस्तुत प्रसंगीं, त्या फटीमध्यें एक कमानदार ज्योत निघाली आणि सभोंवार सूर्याच्या किरणाप्रमाणें किरणें फाकलीं, असें वर्णन आहे. हाच पहिला विजेचा दिवा होय.

पूर्वीं सांगितलेंच आहे कीं विजेरींतून वीज घेणें ही मोठी खर्चाची गोष्ट आहे. दिवे लावण्याच्या कामीं अशी महागाईची चीज व्यवहारांत येणें शक्य नव्हतें. म्हणूनच फॅरडेचें जनित्र सिद्धीस जाईपर्यंत या बाबतींत कोणतीही प्रगति होऊं शकली नाहीं. जनित्रांत सुधारणा होऊन तें मोठ्या व्यवहारांत आलें. मग त्याच्या साहाय्यानें मिळवलेल्या विजेनें दिवे लावण्याचें काम साधून घ्यावें म्हणून

उद्यमी विद्वान् खटपटी करूं लागले. यांपैकीं एडिसन आणि स्वॉन हे दोघेजण प्रमुख होते. यांनींच प्रथम विजेचा उपयोग घरगुती दिवे लावण्याच्या कामीं करून दाखविला. इतका पल्ला गांठीपर्यंत डेव्हीचा पहिला दिवा लागल्यापासून उणीपुरी ७५ वर्षें खर्च झालीं.

डेव्हीनें आपल्या प्राथमिक दिव्यामध्यें जी युक्ति योजली तीच युक्ति, हल्लीं सुद्धां जे आर्चिक दिवे म्हणून म्हणतात त्या दिव्यामध्यें वापरलेली आढळते. असले दिवे फार प्रखर असतात. त्यांचा उपयोग चित्रपट दाखविण्याकरतां हरघडी आजही चालू आहे. या दिव्यामध्यें कोळशाच्या कांड्या उघड्याच असतात. त्या वैद्युत तेजानें उत्पन्न होणाऱ्या उष्मतेजानें तापतात, आणि हवेच्या संपर्कानें जळतातही. साहजिक त्या क्रमाक्रमानें आखूड होत जातात, म्हणून त्यांतल्या फटीची रुंदी कायम ठेवण्याकरतां एक कांडी दुसरीच्या जवळ सारीत राहण्यास कांहीं युक्ति योजणें अवश्य असतें. अशा प्रकारच्या कांहीं युक्त्या योजून तयार केलेले आर्चिक दीप १८६० च्या सुमारासच प्रचारांत येऊं लागले. त्यांची दीप्ति फार मोठी असल्यामुळें ते घरगुती उपयोगाला कधींच योग्य ठरले नाहींत.



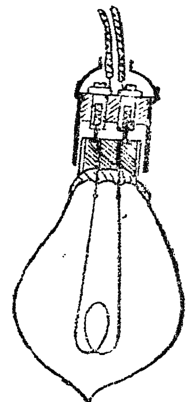
आ० ४८

धातूच्या तारा किंवा कोळशाच्या कांड्या यांच्यापेक्षां हवेंतून वाहण्यास विजेला फार मोठा अडथळा होतो. हा अडथळा ओलांडून जातांना पुष्कळसें विद्युत्तेज उष्मरूपांत प्रकट होतें आणि त्यांतलेंच कांहीं प्रकाशरूपांतही प्रकट होतें. हवेच्या संपर्कांत असणाऱ्या

कांड्या किंवा तारा जळून जातात. म्हणून दिव्यामधून हवेची हकालपट्टीच करावी आणि कोळशामध्यें फट ठेवण्याऐवजीं कोळशाचा एक बारीक तंतु योजावा, अशी एडिसन यानें क्लृप्ति काढली आणि सिद्धीसही नेली. एडिसनचा दिवा, तंतुदीप किंवा तेवता दिवा, या नांवानें प्रसिद्ध आहे.

सामान्यतः सर्वच धातु हवेपेक्षां सुवाहिक आहेत, म्हणजे असें कीं त्यामधून विजेला जाण्याला सुलभ वाट मिळते. धातूधातूत प्रती आहेतच. रुप्यापेक्षां तांबें कमी सुवाहिक आहे आणि त्याही-पेक्षां इतर धातु कमी सुवाहिक आहेत. सामान्यतः रुंद वाटेपेक्षा निरुंद वाटेंत अडथळा अधिक आणि आखूड वाटेपेक्षां लांब वाटेंत अधिक हें पाणवहाळीच्या दृष्टान्तावरून समजून येण्याजोगें आहे. लांब आणि बारीक धातुतंतूत आखूड आणि जाड तारेपेक्षां अडथळा अधिक असतो. धातुतंतूंची दिव्यांत योजना करण्यांत अडचणी आहेत त्या अशा. धातुतंतू तापला म्हणजे मऊ होतो, वितळतो व हवेचा संपर्क असल्यास तो जळतो. शिवाय त्यांतून कणकण निघून सभोंवार उडून जातात. हे दोष ज्या धातूंत मुळींच नाहींत असा धातु सांपडत नाहीं.

आ० ४९



पूर्ण निर्दोष धातु जरी मिळणें शक्य दिसत नाहीं तरी बहुतांशी निर्दोष धातु मिळूं शकतो. हवेचा संपर्क मुळींच टाळतां येतो, तेव्हां हवेंत जळणारा तंतु असला तरी चिंता नाहीं. तापल्यानें मऊ होणें आणि कालान्तरानें विकृत होणें, हे दोष ज्यांत अगदीं अल्प आहेत असे तंतू, तुंगधातूचे बनवितां येतात. या धातूचे तंतू हल्लीं विजेच्या दिव्यांत योज-

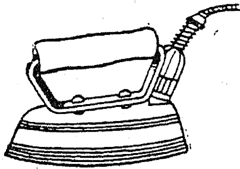
लल असतात. हवा मुळींच काढून घेतली असतां, धातुतंतूंतून हळू-हळू कण कण उडून काचेवर जाऊन बसण्याची क्रिया, एरवींपेक्षा अधिकच झपाट्यानें घडते. म्हणून साधी हवा काढून घेऊन अर्ग किंवा नत्र (Ar, N) यापैकीं एकादा वायु दिव्याच्या फुग्यांत भरण्याची चाल पडली आहे. असा वायु भरला म्हणजे तंतूंचे कण तितक्या लवकर बाहेर पडत नाहींत. दिवा अधिक टिकाऊ होतो.

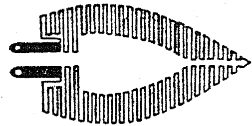
मेणाचा, तेलाचा, किंवा वायूचा दिवा हा ज्वलद्दीप असतो. त्यांत मेण, तेल, किंवा इतर दाह्य वायू जळत असतात. पण विजेच्या दिव्यांत मात्र धातुतंतू नुसता तेवत असतो. तो जळूं नये म्हणून विशेष खबरदारी घेतलेली असते. धातुतंतू तापतो आणि चमकतो, जळत नाहीं. जळत्या दिव्यामध्यें जळण्यानेंच उष्णता उत्पन्न होत असते, त्या उष्णतेनें कोळशाचे कण (किंवा भस्मकण) चमकतात. तंतुदीपामध्यें विद्युत्तेजानें उष्णता उत्पन्न होऊन त्या उष्णतेनें तंतु तापतो व तेवतो.

विजेची शेगडी.

विजेचा दिवा करतां येतो, तशी विजेची शेगडीही करतां येते. एकादा धातुतंतू जेव्हां सपाटून तापतो तेव्हांच तो तेवतो किंवा चमकतो. तंतू तापून लाल झाला म्हणजे त्याचें तपमान ५००° असतें. तो झगझगीत पांढरा झाला म्हणजे त्याचें तपमान ८००° च्याही वर जातें. साधी चूल किंवा शेगडी पाहिजे असल्यास इतक्या उग्र तपमानाची गरज नाहीं. तपमान पांचशेंच्या सुमारांत किंवा त्याहूनही कमी असलें तरी चालेल. गरज इतकीच आहे कीं, त्या तप्त पदार्थांतून उष्णता घेतां यावी. सभोंवतालच्यापेक्षां पदार्थ तापला म्हणजे तो आपोआप उष्णता बाहेर टाकतोच; जितका अधिक तप्त तितका अधिक झपाट्यानें उष्णता टाकतो, हें मात्र

खरें. पुष्कळ उष्णता पाहिजे असल्यास, एकादी लहानशी तार खूप तापविण्यापेक्षां, लांबलचक तार मध्यम मानानें तापविणें चांगलें. त्यामुळें तारेची खराबी टळते. सामान्यतः वापरण्यांतले धातु, तांबे व लोह हे या कामीं उपयोगी नाहींत. ते मध्यम तापनानेंही बिघडतील. म्हणून भट्टीच्या कामीं निकल व रंज (Chromium) या धातूंचा संकर करून त्याचा उपयोग करतात. या संकर धातूची



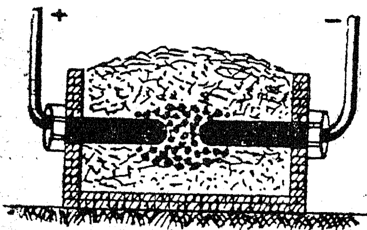


आ० ५०

लांब तार काढून ती नागमोड करून लहानशा जागेंत बसवतात, किंवा योजलेल्या उपयोगाला सोईस्कर अशा दुसऱ्या रीतीनें बसवतात. उदाहरणार्थ एखाद्या इस्तरीमध्यें, इस्तरीच्या आकार-आकृतींची करून बसवतात.

विजेची भट्टी

शेगडीपेक्षां भट्टीमध्यें पुष्कळ उग्र तपमान मिळविण्याची गरज असते. हाडांतून प्रस्फुर (Phosphorus) काढणें, आभ्मपाषाणांतून आभ्मधातु (Al)काढणें खटार्वक (CaC_2) तयार करणें, इत्यादि कामाला उग्र तपमानाची गरज असते. आर्चिक



आ० ५१

दिव्यांत करतात तशी योजना केली असतां, अर्वकांडामधील (अर्व C) फटीतून वीज उडी मारतांना, एक ज्योत उत्पन्न होते. अशा ज्योतीचें तपमान अतिशय उग्र होईल अशी योजना करतां येते.

ओघनियम

तांब्याच्या तारेपेक्षां तुंगधातूची तार विजेस अधिक अडथळा करते असें आपण म्हटलें त्याचा अर्थ काय ? अडथळा मोजावयाचा कसा ? हा प्रश्न आतां सोडविला पाहिजे. ताम्र तारेपेक्षां तुंगतार अधिक रोधिक आहे, असें म्हणण्याचें कारण असें:—लांबी, घेर इत्यादि बाबतींत सारख्या, पण एक तुंगधातूची आणि एक ताब्यांची अशा दोन तारा घेतल्या, आणि त्या एका विजेरीला दोन स्वतंत्र सरण्यांच्या रूपानें जोडल्या, तर तुंगतारेंतून जी वहाळ येते तिजपेक्षां तांब्याच्या तारेंत अधिक वहाळ येते. एकाच काला-वधींत तुंगतारेंतून जितकी वीज वाहील त्यापेक्षां तांबेतारेंतून अधिक वीज वाहील. वीज कूलांब या मापानें मोजावयाची. वहाळ ताम्रातून अधिक मिळते म्हणून अडथळा कमी म्हणावयाचा, आणि तुंगांतुन ती कमी मिळते म्हणून तो अधिक म्हणावयाचा. वहाळ=क्षितिभेद (विजेरीनें उत्पन्न केलेला)÷अडथळा (तारेनें केलेला) क्षितिभेदाचें एकधेय ऊर्ज (व्होल्ट) हें ठरलेलें आहे; त्याचप्रमाणें वहाळीचें एकधेय ओघ (अंपीअर) हेंही ठरलेलें आहे. आतां वहाळ, क्षितिभेद, आणि अडथळा, यांचा हा संबंध कळून आल्यानंतर अडथळ्याचेंही एकधेय ठरून जातें. त्याला रोध असें आपण नांव देऊं या. वहाळ = क्षितिभेद ÷ रोध. ∴ रोध = ऊर्ज ÷ ओघ.

एक ऊर्जानें एक ओघ ज्या सरणींतून वाहतो त्या सरणीचा रोध एक म्हणावयाचा. वहाळ, क्षितिभेद व अडथळा यांचा हा संबंध ओहम नांवाच्या जर्मन विज्ञात्यानें प्रथम उघड करून दाखविला.

म्हणून त्यास ओहम–नियम व रोधास ' ओहम ' असें म्हणण्याची रूढि आहे. ओहम् = होल्ट ÷ अंपीअर.

जाउलचा तेजोनियम

विजेचा दिवा किंवा विजेची शेगडी या प्रयुक्त्यांमध्यें आपणाला वीज किती मिळते हा विचार गौण आहे. पण आपणाला प्रकाश किती मिळतो किंवा उष्णता किती मिळते हा विचार प्रमुख आहे. विजेपासून होणारा उष्मलाभ कोणकोणत्या गोष्टींवर अवलंबून आहे ? क्षितिभेद, वहाळ, अडथळा, याशीं त्याचा काय संबंध आहे ? या प्रश्नाचा उलगडा जाउल या इंग्लिश विज्ञात्यानें केला. अनेक प्रयोगा-वरून त्याला असें कळून आलें कीं एकाद्या सरणींत (किंवा सरणीच्या भागांत) प्रकट होणारा उष्मा दोन गोष्टींवर अवलंबून आहे. (१) वीज, (२) ऊर्ज म्हणजे क्षितिभेदानें उत्पन्न झालेला विजेचा दाब. सरणींतून वाहिलेली वीज, कूलोम या मापानें मोजावयाची; आणि त्या सरणीच्या टोकांमधला क्षितिभेद, व्होल्ट या मापानें मोजावयाचा. क्षितिभेदाचें माप तेंच ऊर्जाचें माप.

तेज = ऊर्ज × वीज. (जाउलचा नियम)
= ऊर्ज × ओघ × कालावधि.

जाउल याला असें आढळून आलें कीं, एक रोध (ओहम) आक्रमून एक ओघ (अंपीअर) एक विपळभर (सेकंदभर) गेला असतांना ०.२४ ओष (कॅलोरी) उष्मा उत्पन्न होतो.

तेज हें उष्मरूप असेल, किंवा प्रकाशरूप असेल, किंवा दिव्यांत उत्पन्न होतें त्याप्रमाणें अंशतः उष्म आणि अंशतः प्रकाशरूप असेल, किंवा चलित्राच्या बाबतींत घडतें तसें वेगीय शक्तींत रूपांतर पावेल. वेगीय शक्तीनें वजन उचलण्याचें काम करतां येतें, हें प्रसिद्धच आहे.

वीज आणि विजेचें तेज किंवा विजेचें सामर्थ्य, या दोन गोष्टींतील भेद ध्यानांत ठेवण्याकरता, वीज ही पाण्यासारखी आहे हाच दृष्टान्त पुनः मनांत आणावा. पाणी आणि पाण्याचें काम करण्याचें सामर्थ्य यांत जसा भेद आहे, तसाच वीज आणि विजेचें तेज किंवा काम करण्याचें सामर्थ्य यांत भेद आहे, हें ध्यानांत ठेवावें. पाण्याचा राशि किंवा पाणी आणि पाण्याची उंची, या दोहोंवर त्याचें सामर्थ्य अवलंबून आहे, तसेंच विजेचें सामर्थ्य, वीज (ओघ × कालावधि) आणि विजेचा क्षितिभेद (ऊर्ज), या दोहोंवर अवलंबून आहे.

मोठ्या सामाजिक व्यवहारांत आपणास विजेपेक्षां विजेच्या तेजाशीं, शक्तीशीं किंवा सामर्थ्याशींच विशेष कर्तव्य असतें. दिवे लावणें, शेगड्या भट्ट्या चालवणें, किंवा यन्त्रें चालविणें याकरतां आपण वीज किती घेतों किंवा देतों ही गोष्ट मुद्याची नसून आपण वैद्युत शक्ति किती देतोघेतो ही गोष्ट मुद्याची असते. विजेचे व्यापारी माप म्हणून जें आपण म्हणतों, तें खरोखरी विजेच्या शक्तीचें माप असतें.

प्रश्नावलि

१ विजेच्या तेवत्या दिव्यांतील तंतूमध्यें कोणते विशेष गुण असावे लागतात ?

२ साधा जळता दिवा आणि तेवता दिवा यांत मुख्य भेद कोणते ?

३ विजेच्या शेगडीची व आर्चिक भट्टीची रचना कशी असते ?

४ ओघनियम कोणता ?

प्रकरण १२

तेजोमापन

उष्णता, प्रकाश व वैद्युत सामर्थ्य हीं तीन प्रकारचीं तेजें आहेत. त्यांचें परस्परांत रूपांतर होऊं शकतें, इतकेंच नव्हे तर त्यांचें वेगीय शक्तींत रूपान्तर होऊं शकतें. या दृष्टीनें, वेगीय शक्तीसही चवथ्या प्रकारचें 'तेज' म्हणतां येईल; किंवा उष्णता, प्रकाश, वैद्युत सामर्थ्य, यांना 'शक्ती' म्हणतां येतील. परंतु 'तेज' हा शब्द उष्णता, प्रकाश, वैद्युत सामर्थ्य, यांपुरताच मर्यादित करून, वेगीय सामर्थ्यासच 'शक्ति' म्हणणें बरें.

विजेच्या व्यवहारांत वैद्युत तेजाचें महत्त्व काय आहे तें समजल्यानंतर त्या तेजाचें मापन करावयास साधनें कोणतीं वापरावीं तें समजून घेणें अवश्य आहे. वैद्युत तेजाचें मापन म्हणजे क्षितिभेद, ओघ, आणि कालावधि, या तिघांचें माप झालें पाहिजे. यांपैकीं कालमापन येथें सांगावयाची गरज नाहीं. ओघमापनाविषयीं मागें दिग्दर्शन केलेंच आहे. आतां फक्त क्षितिभेदमापन किंवा ऊर्जमापन कसें करावें एवढें सांगितलें म्हणजे झालें. वीजवहाळीची शेजारच्या दिक्सूचीवर जी पिळवण उत्पन्न होते, तिजवरून वहाळ मोजावयाची युक्ति साधावी, असें मागें सांगितलें आहे. ऊर्ज-मापनाला सुद्धां तीच युक्ति वापरतां येईल. सुईनें दाखवावयाचे अंक ऊर्जवाचक केले म्हणजे झालें.

ऊर्जाचें काय किंवा ओघाचें काय, कशाचेंही मापक वापरावयाचें असलें म्हणजे एक खबरदारी अवश्य घेतली पाहिजे; ती अशी कीं मापक वापरल्यामुळें मोजावयाचें मान बदलतां कामा नये. समजा एकाद्या पदार्थाचें तपमान मोजावयाचें आहे. आतां याकरितां आपण

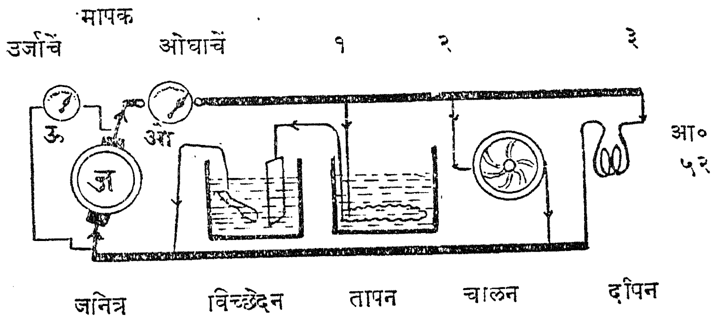
जें तपमापक वापरावयाचें त्यानेंच स्वतः मोजावयाचें तपमान म्हणण्यासारखें उतरेल इतकी उष्णता खाऊं नये. अत्यंत थोडी उष्णता घेऊन त्यानें तपमान मोजून दिलें पाहिजे. त्याचप्रमाणें एकाद्या सरणींतील ओघ मोजावयाचा असल्यास, आपण जें ओघ-मापक वापरावयाचें, त्यानेंच स्वतः ओघ कमी करतां कामा नये. त्यानें स्वतः वीज वहाण्याला अत्यंत थोडा अडथळा करावा, मुळींच न केला तर बरा. पण तें शक्य नाहीं म्हणून त्यानें स्वतः अडथळा अत्यंत कमी करावा असें करणें भाग असतें. अडथळा वाढल्यानें ओघ कमी होतो हें सूत्र ध्यानांत ठेवावें.

ऊर्जाचें मापक म्हणून जें वापरावयाचें त्याचा अडथळा मात्र पुष्कळ मोठा असावा, कारण ज्या दोन स्थानांमधील क्षितिभेद मोजावयाचा असेल त्या दोन स्थानांना या मापकाचीं दोन टोकें जोडणें अवश्य असतें. मापकाचा रोध (अडथळा) जर थोडा असेल तर अशानें एक छोटी वाट केल्यासारखें होईल, आणि एकंदर सरणींतील वहाळ बिघडून जाईल. उदाहरणार्थः—एकाद्या विजेरीच्या दोन टोकांमधील ऊर्ज मोजावयाचें असलें तर त्या दोन टोकांत सुलभ वाट—थोडा अडथळा—असलेली वाट करून ठेवतां कामा नये. नाहीं तर विजेरी बिघडून जाईल. सर्व वहाळ त्या छोट्या वाटेंतूनच जाईल, इतर सरण्यांतील वहाळ बहुतेक थांबेलच. एवढ्यासाठीं ऊर्जमापकाचा रोध मोठा असला पाहिजे. अर्थातच त्यानें स्वतः फार थोडा ओघ घेतला पाहिजे.

उदाहरण

येथें दोन पृथक् सरण्या दाखविल्या आहेत. डाव्या बाजूची एक व उजव्या बाजूची एक. डाव्या सरणीत ऊर्जमापक आहे. त्यानें जनित्राच्या दोन टोकामधील क्षितिभेद मोजला जात आहे.

उजव्या सरणीत ओघमापक आहे. या सरणीच्या एकंदर तीन शाखा आहेत. पहिल्या शाखेंत तापन व विच्छेदन अशीं दोन कामें चालू आहेत. दुसऱ्या शाखेंत पंखा चालू आहे, आणि तिसऱ्या शाखेंत दिवा तेवत आहे. या तीनही शाखा मिळून जी



एक सरणी झाली तिच्यांतून वाहणारी वहाळ, ओघमापकानें मोजली जात आहे. स्वतः ओघमापकांत विद्युत्तेज बहुशः खर्च होतच नाहीं म्हटलें तरी चालेल. मापकामध्यें वहाळीला अडथळा फार थोडा असतो.

तेज व ओज

वैद्युत तेजाचें माप अमुक किलोवॉट—तास असें सांगतात. त्याचा अर्थ काय तें आतां पाहिलें पाहिजे.

अंपीअर × सेकंद = कूलोम.

एक कूलोम वीज एक व्होल्ट ऊर्ज (दाब) असतां जें काम करते त्यास जाउल म्हणावें, असा संकेत आहे.

एका विपळांत किंवा सेकंदांत म्हणा एक जाउल काम उरकणें, हा जो काम करण्याचा वेग त्यास एक वॉट म्हणतात.

१००० वॉट म्हणजे एक किलो वॉट. या वेगानें एका तासांत

जें काम होईल, जी शक्ति पुरविली जाईल, ती एक किलो-वॅट–तास शक्ति, किंवा तें काम होय.

काम करण्याच्या वेगास इंग्रजींत पॉवर म्हणतात; मराठींत ‘ ओज ’ म्हणावें. शक्ति हें कामाचें किंवा कृताचेंच पूर्वरूप आहे. काम आणि शक्ति एका मापानें मोजावयाचीं.

वॅट = जाउल ÷ सेकंद.
वॅट × सेकंद = जाउल.
४·२ जाउल = १ ओष (कॅलोरी)

दिव्यावरील शिक्के

विजेचे दिवे जे बाजारांत मिळतात त्यावर दोन अंक मांडलेले असतात. एक (व्होल्ट) ऊर्जाचा असतो आणि दुसरा बहुधा (वॅट) ओजाचा असतो. या दिव्याचीं दोन अग्रें, अमुक व्होल्ट क्षितिभेदानें जोडलीं तर तो अमुक वॅट ओज घेईल, असा या शिक्क्यांचा अर्थ असतो. दिव्यांतील तंतूंचा रोध नेमका ठेवलेला असतो. त्यावर मांडलेलें ऊर्ज त्याला मिळालें म्हणजे त्यांतून ओघ किती जाणार हें ठरतेंच. ओघ × ऊर्ज = ओज असा हिशोब असतो. शेवटीं जें तेजाचें माप करतात तें ‘किलोवॅट–अवर’ असें असतें. दिव्यावरचे शिक्के पाहिले, आणि किती वेळ दिवे तेवत आहेत तें टिपून ठेवलें, म्हणजे आपलें तेजाचें मापक बरोबर आहे कीं नाहीं या गोष्टीचा ताळा पाहतां येतो. उलट मापक खात्रीनें बरोबर असल्यास आपले दिवे किंवा ऊर्ज यांत बिघाड आहे कीं काय तें समजूं शकतें.

सार्वजनिक वैद्युत पुरवठ्याचें ऊर्ज ठरलेलें असतें. त्यांत म्हणण्यासारखे बदल होऊं नयेत अशी योजना असते.

घरगुती वैद्युत पुरवठ्याचें ऊर्ज २२० व्होल्ट असतें. एवढ्या ऊर्जानें सुद्धां माणसाच्या शरीराला चांगले फणकारे बसतात. याहून अधिक ऊर्जानें घात होण्याचा संभव असतो. म्हणून अधिक ऊर्ज घरगुती पुरवठ्यांत ठेवण्याला बहुधा कायद्यानेंच बंदी करतात.

दिव्यावर पूर्वी दीप्तीचे अंक, अमूक C. P., बत्त्या (कँडल-पॉवर), असें मांडीत. योग्य ऊर्ज दिलें असतांना तो अमुक इतक्या तीव्रतेनें प्रकाश देईल असा त्याचा अर्थ. चांगलें तंतुदीप दरएक बत्तीगणीक १-२ वॅट ओज घेतात. हाफ वॅट लँप म्हणून कांहीं दिव्यांची प्रशंसा करतात. त्यांत दरएक बत्ती दीप्तीला अर्धा वॅट ओज खर्च होतें असा अभिप्राय असतो. शिक्क्यांत दिलें असेल त्याहून अधिक ऊर्ज दिव्यास देऊं नये. दिलें असतां त्याचा तंतू बिघडून जाईल.

प्रश्नावलि

ऊर्ज आणि ओघ यांचें माप घेतांना जीं साधनें वापरावयाचीं त्यांच्या रचनेंत कोणता भेद मुख्य असतो ?

हीं साधनें वापरण्यांत कोणतें धोरण ठेवावें लागतें ?

वैद्युत तेजाचें माप कसें करतात ?

दिव्यावर अमूक व्होल्ट अमूक वॅट असे शिक्के असतात त्यांचा अर्थ काय ?

———

प्रकरण १३

तारेंतून संदेश.

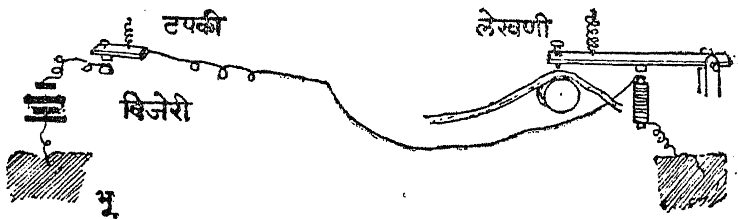
मानवी व्यवहारांत संदेश पाठविण्याचें काम किती महत्त्वाचें आहे तें कोणांस सांगावयास नको. प्रत्येकाजवळ स्वाधीन असें संदेशसाधन म्हणजे वागिंद्रिय हें असतें. याच्या आटोक्याबाहेर संदेश पाठविण्यास घंटा किंवा दुसरें एकादें वाद्य हें सुलभ साधन असतें. याहून दूर संदेश पाठविणें असेल तर तोफ उडविली पाहिजे. परंतु अशा बाह्य साधनांनीं आपणांस भाषित संदेश पाठवतां येत नाहीं. नुसत्या कांहीं सांकेतिक खुणा कळवतां येतात. वाहत्या विजेचें आकर्षण जवळपासच्या दिक्सूचीवर असतें हें उघडकीस आल्यावर, आतां या वीजवहाळीच्या गुणाचा उपयोग, संदेश देण्याच्या कामीं करून घ्यावा, असें कांहीं उद्योगी विद्वानांच्या मनांत आलें. त्यांच्या उद्योगाचें पहिलें फळ म्हणजे तारपल्लवी हें होय.

तारपल्लवी

हाताच्या बोटानें खुणा करणें म्हणजे करपल्लवी म्हणतात तसच तारेनें खुणा करणें म्हणजे तारपल्लवी असें म्हणतां येईल. दोन ठिकाणामध्यें वीज वाहण्याजोगी तार उभारावयाची, संदेश पाठवण्याच्या जागीं एक विजेरी ठेवावयाची, आणि संदेश घेण्याच्या ठिकाणीं वहादर्शी ठेवावयाचा. विजेरीचें एक तोंड ओल्या जमिनीशीं जोडून यावयाचें आणि तारेचे दूर ठिकाणचें टोकही तसेंच जमिनीशी जोडावयाचें म्हणजे जमिनींतून विजेला पुरी वाट मिळते. विजेरींतून वीज सोडली कीं वहादर्शीतील सुई ढळेल आणि वहाळ बंद केली कीं सुई आपल्या मूळ जागीं येईल. या युक्तीनें कांहीं

खुणा करतां येणें शक्य आहे. विजेच्या वहाळीची दिशा बदलली म्हणजे सुईच्या चलनाची दिशा बदलते, या गोष्टीचा उपयोग करून दोन खुणा स्पष्टपणें वापरतां येतात.

दुरून खुणा लिहिण्याचें अगदीं साधें साधन शेजारी दाखविलें आहे. संदेश पाठवण्याच्या जागीं एक विजेरी असते, तिचें एक टोक भुईस जोडलेलें व दुसरें एका टपकीस जोडलेलें असतें. टपकी-



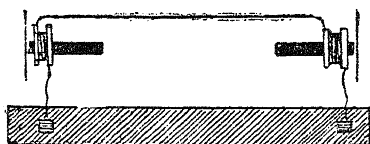
आ० ५३

तून एक तार घेऊन, ती निरोप पाठवण्याच्या जागीं एका नरम लोखंडाच्या कांडीस गुंडाळून भुईस जोडलेली असते. या कांडीच्या आटोक्यांत एक लोखंडी पट्टी देऊन तिलाच लेखणी बनविलेली असते. लेखणीच्या आटोक्यांत एक कागदाची पट्टी सरकत राहण्याची व्यवस्था असते. टपकीनें ठेप दिली कीं लेखणीचा फाटा कागदावर टेकतो. ठेप सुटली कीं फाटा सुटतो. ठेप कमजास्त वेळ ठेवल्यानें कमजास्त लांबीच्या खुणा उठतात. ही तारेंतून संदेश देण्याची रीत, १८३७ त न्यूयॉर्क युनिव्हसिटीमध्यें, मोर्स यानें प्रथम योजून दाखविली. नंतर सात वर्षांनीं तिला राजाश्रय मिळाला.

तारबोली

दूरात् लेखन झालें तरी त्याला दूरात्-भाषणाची सर येणें नाहीं. फॅरडेनें जनित्र चलित्र आणि रोहित्र हीं करून दाखविलीं, तेव्हां

भाषणानें उत्पन्न होणाऱ्या हालचालीनेंही एकादें जनित्र आणि चलित्र चालवण्याची शक्यता, कांक्षावन्त उद्यमी लोकांच्या मनांत घोळूं लागली. १८७५ मध्यें, ग्रॅहम बेल यानें ती प्रथम मूर्त स्वरूपांत आणली. दूरात् भाषणी (टेलीफोन) या साधनाचे दोन भाग असतात. पहिल्यांदा जीं साधनें निघालीं त्यांत हे दोनही भाग समसमान असत. तोंडाशीं धरावयाचा भाग तें जनित्र, आणि



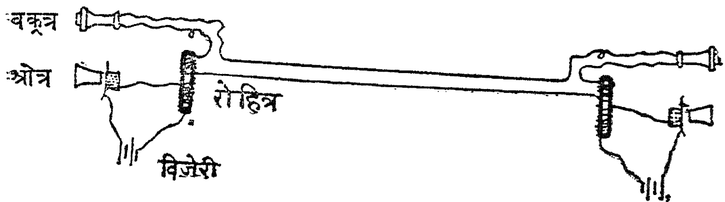
आ० ५४

कानाशीं धरावयाचा भाग तें चलित्र होय. ध्वनितरंगांच्या योगानें एक लोहाचें तकट हालवलें जातें. शेजारींच एका लोहचुंबकाच्या गजाभोंवतीं सवेष्टण तार वेढलेली असते. त्या तारेच्या एका टोकाचा भुईशीं जोड केलेला असतो आणि दुसरें टोक दूर ठिकाणच्या अशाच तारेशीं जोडलेलें असतें. त्या ठिकाणीं सुद्धां लोहचुंबक गज, त्याभोंवतीं तारेचें गुंडाळें, त्याचें एक टोक भुईशीं जोडलेलें, आणि गजाच्या टोकाजवळ एक लोहपत्र, अशीच योजना असते.

एका ठिकाणच्या पत्र्यावर शब्दतरंग पडले म्हणजे पत्रा त्यांच्या अनुरोधानें कंप पावतो, त्यामुळें लोहचुंबकाभोंवतालच्या कर्षरेषांची मांडणी बदलते. साहजिक कांहीं रेषा त्यासभोंवतल्या तारगुंडाळ्यानें कापल्या जातात. असें झाल्यामुळें नव्या कर्षरेषा उद्भावित होतात, म्हणजेच गुंडाळ्यांत वीजवहाळ चालू होते. या वहाळीमुळें दूरस्थानांतील लोहचुंबकाचें बळ बदलतें. हे सर्व बदल अत्यल्प काळांत आणि आरंभस्थानांतील भाषणाच्याच अनुरोधानें होत असल्यामुळें, जसें पहिल्या ठिकाणचें तकट हालवलें जातें, तसेंच दुसऱ्या ठिकाणचेंही हालवलें जातें. पहिल्या तकटावर

जे शब्द टाकावे तेच दुसऱ्यांतून उमटतात. हें दूरात् भाषण झालें. या दूरात् भाषणाला तारेची मध्यस्ती लागते, म्हणून त्यास ' तारबोली ' असेंही म्हणतात.

तारबोलीमध्यें अलीकडे एक सुधारणा झाली आहे ती बोली पाठविण्याच्या साधनांत. जनित्राऐवजीं रोहित्र वापरणें ही ती योजना होय. एका लोहकांडाभोंवतीं दोन तारगुंडाळ्या वेढलेल्या असतात. प्रथमेमध्यें एका विजेरींतून वीज वहात असते. या वीजवाटेंत एक डबी असते. या डबींत बारीक बारीक अर्वगुलिका (अर्व=कार्बन, कोळसा) असतात. त्या गुलिका एकापक्षीं ज्या तकटावर वक्ता बोलतो त्या तकटास टेकलेल्या असतात, तर दुसऱ्यापक्षीं एका तकटास टेकलेल्या



आ० ५५

असतात. या दोन तकटांमधून वीजवहाळ जावयाची असते. शब्दतरंगांच्या योगानें तकट दबलें म्हणजे गुलिका एकमेकीला खेटतात, आणि तकट फुगीर झालें म्हणजे त्या विरळ होतात. सलग धोपट वाटेपेक्षां वेड्यावांकड्या चिरट्या चिरट्या पडलेल्या वाटेनें वाहणाऱ्या विजेला अडथळा जास्त होतो. याला दृष्टान्त माणसांच्या रहदारीचाही घेतां येईल. सलग वाटेंतून रहदारी होणें जितकें सुलभ असतें तितकें ते वाटेच्या वेड्या वाकड्या चिरट्या असल्यास सुलभ असत नाहीं, कठीण असतें. माणसें अडखळत अडखळत चालतात, त्यांचा वेग मंदावतो. तसेंच विजेचेंही आहे.

गुलिका विरळ झाल्या कीं विजेची वहाळ कमी होते, आणि गुलिका दाटल्या कीं वहाळ वाढते.

बोलण्याच्या अनुरोधानें विजेच्या मार्गांतला अडथळा कमजास्त होतो, ही गोष्ट ध्यानांत आली म्हणजे पुढच्या गोष्टी स्पष्ट होतील. विजेरीचें ऊर्ज कायम असतें. अडथळ्यांत मात्र भेद होतो. अर्थात् विजेच्या वहाळीतही बदल होतो, आणि म्हणून लोहचुंबकाच्या बळांत त्याच अनुरोधानें त्या योगानें बदल होतो. कर्षरेषामध्यें जी चाळवाचाळव होते तिजमुळें द्वितीयेंत वीजेची वहाळ कमीअधिक होते. दूरच्या ठिकाणीं, या वहाळीच्या आधीन जो लोहचुंबक असतो त्याच्या बळांत असेच बदल होतात आणि साहजिकपणेंच चुंबकाशेजारचें तकट हालतें.

या सर्व हालचाली, आरंभस्थानीं तकटावर पडणाऱ्या शब्दतरंगाच्या अनुरोधानेंच होत असतात. आरंभस्थानीं ज्याच्यावर शब्दतरंग टाकावयाचे त्याला 'श्रोत्र' आणि दूरस्थानीं ज्यांतून शब्दतरंग निघतात त्यास 'वक्त्र' अशीं नांवें आहेत.

प्रश्नावलि

दूरात् लेखनाला उपयोगी पडणारा विजेचा विशेष गुण कोणता ?
दूरात् भाषणाला उपयोगी पडणारा विजेचा विशेष गुण कोणता ?

——-——

प्रकरण १४

बिनतारी संदेश.

तारेंतून संदेश पाठविणें हें १९ व्या शतकांतलें आश्चर्य झालें परंतु या २० व्या शतकांत बिनतार संदेशन हें आणखी एक नवें आश्चर्य उत्पन्न झालें आहे. हवेंतून शब्दसंदेश एका विपळांत (सेकंदांत) अवघे ३३० चरण (११००फूट) पर्यंत जातो. बिनतारी संदेशाचा वेग अपरंपार मोठा आहे, तो एवढा कीं एका विपळांत तो सहा वेळां पृथ्वीच्या कंबरेंभोंवतीं फिरून येईल !

बिनतारी संदेशाची क्लृप्ति निघेपर्यंत एवढ्या प्रचंड वेगानें चालणारी एकच चीज माहीत होती, ती म्हणजे प्रकाश होय. गुरूच्या उपग्रहांचे ग्रहणांचे वेध घेऊन, रोमर नांवाच्या प्रसिद्ध ज्योतिर्विदानें १७ व्या शतकांतच असें अनुमान काढून ठेवलें होतें कीं पृथ्वीची कक्षा ओलांडून यावयास प्रकाशाला १००० विपळें (१६ मिनिटांहून किंचित् अधिक) वेळ लागतो. पृथ्वीच्या पृथ्वीवरच प्रयोग करून फिझू आणि फूको या फ्रेंच विज्ञात्यांनी प्रकाशवेग मोजून पाहिला, तो रोमरच्या अनुमानाशीं जुळताच निघाला. त्यानंतर बिनतारी संदेशाचाही वेग विज्ञानी लोकांनीं मोजून पाहिलेला आहे. तो देखील प्रकाश—वेगाइतकाच असतो असें आढळून आलें आहे. (पडत्या फळाचा संदेश पृष्ठ ७६ पाहा. रंग आणि तरंग पुरवणी पृष्ठ १७ पाहा.)

एका सरणींतून, तिजपासून अलग असलेल्या दुसऱ्या सरणींत, वैद्युत तेज जाऊं शकतें हें फॅरडेच्या अनुभवास आलें; तेव्हां वीजवाही तारेच्या भोंवतीं कर्षपाश असतात आणि त्यांच्या द्वारें तेजःसंक्रमण होऊं शकतें अशी उपपत्ति त्यानें बसवली. कर्षपाश हे

त्या तारेच्या आसपासच आढळतात हें खरें. परंतु ते त्याहून दूर-वर सुद्धां पसरले असावेत असें वाटतें. कर्षक्षेत्राचें बळ अंतराच्या मानानें क्षीण होत जातें; परंतु अमुक अंतरावर तें शून्य व्हावें असें म्हणण्यास कांहीं कारण नाहीं. तें अधु होत जातें आणि कांहीं अंतरापलीकडे आपण त्यांसच ओळखूं शकत नाहीं एवढें मात्र खरें. क्षेत्रबळ कमी म्हणजे कर्षरेषा विरळ असा अर्थ समजावयाचा. विस्तीर्ण जलाशयांत खडा टाकला असतां लाटा उसळतात, त्या उगमापासून दूरवर गेल्यावर अंधुक होतात, आणि डोळ्याला दिसत नाहींत, तसेंच हेंही असलें पाहिजे. या कर्षरेषांच्या योगानें तेज दूरवर पोंचवतां यावें, अशी फॅरडेची अटकळ होती. असें दूरवर विद्युत्तेज संक्रमण पावलेलें ओळखण्याचीं साधनें निघालीं तर या संक्रमणाचा वेग प्रकाशाच्या वेगाइतकाच भरेल असाही फॅरडेचा तर्क होता. हर्ट्झ नामक जर्मन विज्ञात्यानें या सर्व अनुमानांचा प्रत्यय पाहण्याकरतां प्रयोगरचना केली. त्याच्या अनुभवावरून हीं अनुमानें यथायोग्यच होतीं असें आढळलें.

हर्ट्झ यानें बिनतार संदेशाचा प्रयोग करण्यापूर्वीं, लॉर्ड केल्व्हिन यांनीं एक गोष्ट सिद्ध केली ती विशेष महत्त्वाची आहे. एकादी लेडन धारणी घेऊन तिच्यांतील विजेचा विसर्ग करतात तेव्हां एकदम एक ठिणगी उडाली असें नुसत्या डोळ्याला दिसतें. पण एकाद्या गिरगिरत्या आरशांत तिचें प्रतिबिंब पाहिलें असतां, असें दिसून येतें कीं एकीकडून दुसरीकडे दुसरीकडून पुनः पहिलीकडे अशी ठिणग्यांची ये जा चाललेली असते. विजेच्या वाटेंतल्या फटीमध्यें विजेला हे जे हेलकावे बसतात त्यामुळें भोंवतालीं कर्षरेषामध्येंही झपाट्यानें घडामोडी होत असल्याच पाहिजेत हें उघड आहे. एकच स्वाभाविक क्षिप्रता असलेले दोन सूरकाटे कांहीं अंतरावर ठेवावे. आतां त्यांतला एक जरी थरथरत ठेवला तरी दुसरा

त्याच्याशीं साथ करतो असा अनुभव आहे. दोहोंमध्यें पसरणाऱ्या वायुतरंगाच्या द्वारें एकाची शक्ति दुसऱ्यास मिळते, तद्वतच विजेच्या ठिणग्यांचेंही व्हावें, असा विचार हर्ट्झच्या मनांत आला. त्यानें विजेच्या विसर्गाच्या बाबतींत, ही क्षिप्रता कशाकशावर अवलंबून असते या गोष्टीचा तपास केला, आणि संवादी म्ह० एकामेकांची साथ करणारे सूरकाटे करावेत तशा संवादी धारण्या तयार केल्या. यांपैकीं एकींत विजेचा विसर्ग केला कीं दुसरींतही, ती पूर्णपणें अलग असतांही, विजेचा विसर्ग घडून आलेला दिसून येई. हाच बिनतारी संदेशनाचा आरंभ होय.

परिक्षेपण

हा बिनतारी संदेशाचा प्रकार विशेष लोकप्रिय झाला आहे. हे संदेश पाठविण्याची जागा तें प्रेषास्थान होय. या स्थानांत एका धारणींत विजेचीं आंदोलनें चालू ठेवतात. एका सरणींत वीज एकदां एका दिशेंत तर एकदां त्या विरुद्ध दिशेंत वाहात असते. या सरणीस आंदोलनसरणी म्हणतात. या सरणीच्या शेजारीं एक तारेची गुंडाळी असते. तिचें टोंक आकाशांत उंच उभारलेल्या तारांच्या जाळ्यास जोडलेलें असतें, तर दुसरें खालीं भुईंत पुरलेल्या तारेस जोडलेलें असतें. आंदोलनसरणींतील आंदोलनाच्याच अनुरोधानें या सरणींत विजेचीं आंदोलनें व्हावीं, अशा रीतीनें त्यांचा सूर जमवलेला असतो. आकाशी तारांच्या योगानें त्या तारा आणि भुई यांच्या-मधील संवहावर चांगली पकड मिळते, आणि तेथें संवहांत तरंग उत्पन्न होतात, ते सभोंवार पसरतात. संदेश घेण्याच्या ठिकाणीं सुद्धां एक आकाशी तार उभारलेली असते तिच्यांत तेथें पोंचलेली तरंगशक्ति पकडली जाते.

'संवह' म्हणून एक अगदीं हलकें बिनवजनाचें द्रव्य आहे. तें सर्व विश्वांत भरून राहिलेलें आहे. प्रकाशतेज, उष्मतेज, किंवा वैद्युत

तेज म्हणजे या विश्वव्यापी संवहांतले तरंगच होत अशी कल्पना आहे. (संवह = ईथर.)

प्रेषास्थानाला जोडून एक कलास्थान असतें. तेथें गायन, वादन, भाषण हीं कामें चालतात. तीं वैद्युत श्रोत्राच्या द्वारानें दूरात्‌भाषण-पद्धतीच्या सरणींत उतरून घेतात आणि प्रेषास्थानांत नेतात. प्रेषास्थानांत जे संवहतरंग उत्पन्न होतात त्यांची क्षिप्रता फार मोठी लाखांनी मोजण्याइतकी असते. या महाक्षिप्रतेच्या तरंगावर त्या मानानें फारच अल्प (२० ते २०,०००) क्षिप्रतेच्या ध्वन-तरंगांचा छाप उठवतात. आपली पृथ्वी सूर्याभोंवतीं फिरतां फिरतां स्वतःभोंवतीं फिरते. सूर्याभोंवतीची फेरी वर्षांत एक आणि स्वतः भोंवतीची फेरी दिवसांत एक, असा फरक असतो. तरी दोनही प्रकारच्या फेऱ्या एकदमच चालू असतात. हा एक दृष्टान्त येथें घेण्याजोगा आहे. असो. असे अल्पक्षिप्रतेच्या तरंगांचे छाप अंगावर उमटलेले पण स्वतः महाक्षिप्रता असलेले तरंग, प्रेषास्थानापासून ग्रहणस्थानीं पोंचून आकाशींतून मंजूषेंत किंवा पेटींत, उतरतात. तेथें त्यांच्यावरील छाप तेवढा उतरवून घेण्याची व्यवस्था असते. हा ध्वनतरंगाचा छाप फार अंधुक असतो, कारण प्रेषा-स्थानांतून मोठी शक्ति जरी बाहेर फेकली गेली तरी तिचा फारच थोडा अंश ग्रहणस्थानीं मिळू शकतो. म्हणून ध्वनतरंगांचा छाप ठळक करून घेण्याचीही व्यवस्था करावी लागते. इतकें झाल्या-नंतर हे छाप महावक्त्रांतून ग्रहणस्थानाच्या हवेवर उमटवले जातात.

प्रश्न

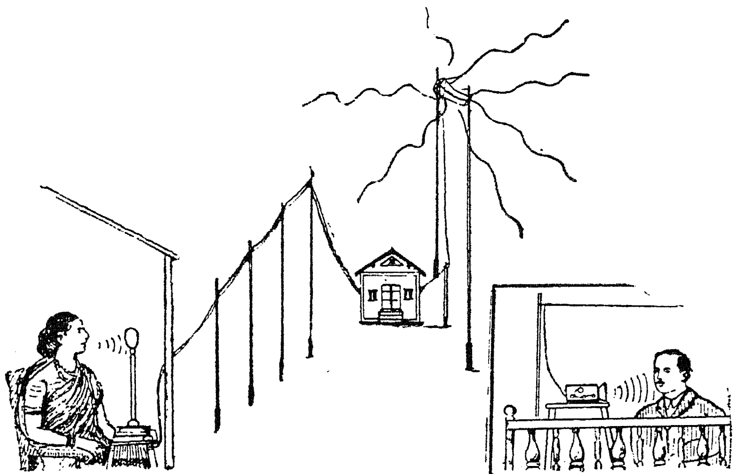
धारणीच्या विसर्गाचा कोणता विशेष बिनतार संदेश देण्याच्या कामीं येतो ?

बिनतारी संदेश

सर अँब्रोज



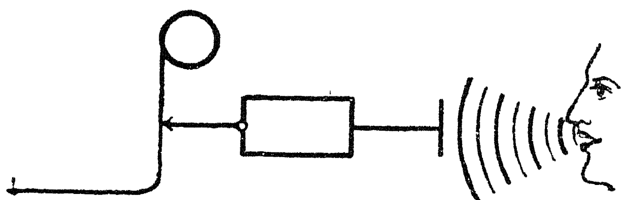
फ्लेमिंग



कलास्थान · प्रेषास्थान ग्रहणस्थान

मोठे मोठे तरुवर मोडी फोडीहि जी शिलाराशी।
विद्युल्लता नरें ती केली संदेशहारिका दासी॥

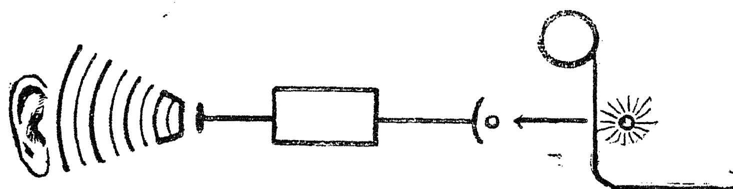
ध्वनिलेखन



शब्दचित्रपट्टी, प्रकाश-किरण, वर्धनी, श्रोत्र, वक्ता.

वर्धनी म्हणजे विजेची वहाळ वाढवण्याचें साधन. यांत द्वारकाचा उपयोग करतात.

ध्वनिवाचन.



श्रोता, महा-वक्त्र, वर्धनी, प्र. वै. प्रकाश-किरण, चित्रपट्टी.

प्र० वै०, प्रकाशवैद्युत करंड. यामध्यें प्रकाशाच्या तीव्रतेनुरूप विजेच्या वहाळींत फरक घडून येतात.

विज्ञानाच्या योगें केला रवि चित्रकार मनुजानें ॥
सौदामिनिसह वायुहि तुष्ट करी त्यास सुस्वरें गानें॥

प्रकरण १५

बोलका चित्रपट.

ही विसाव्या शतकांतली आणखी एक चीज आहे. मुके चित्रपट करण्याची खटपट १९०० च्या पूर्वींपासून चालू होती. ती सुद्धां नीटपणें सिद्धीस जाईपर्यंत विसावें शतक उजाडलें. गायंत्राचा कर्ता एडिसन यानें आपल्या गायंत्राच्या साह्यानें चित्रपटास वाचा आणून देण्याची खटपट केली होती, पण ती चांगलीशी साधली नाहीं. गेल्या महायुद्धानंतर बोलपटाची आधुनिक सामग्री सिद्ध झाली. गायंत्राची जोड साध्या चित्रपटास देण्यांत दोष राहतात ते असे. (१) पुष्कळ वेळ बोल चालू राहतील एवढी मोठी तबकडी किंवा बांगडी तयार करणें अवघड आणि गैरसोईचें असतें. (२) बांगडी आणि चित्रपट यांची चाल अगदीं एकापावली झाली पाहिजे. देखाव्याच्या जोडीचा असेल तोच ऐकावा, नेमक्या वेळेला उमटला पाहिजे, यत्किंचितही मागेंपुढें होतां कामा नये. ही गोष्ट नीटशी साधत नाहीं.

ध्वनिलेखन.

महायुद्धामध्यें विजेच्या यन्त्रसामग्रीसंबंधानें ज्ञान पुष्कळच वाढलें. त्यामुळें अगदीं एकसाथ नेमक्या वेगानें चालणारीं चलित्रें तयार झालीं. या चलित्रांचा उपयोग चित्रपट चालवण्याकडे झाला. याशिवाय ध्वनि लिहून ठेवण्याचींही नवीन विशेष तत्पर साधनें सिद्ध झालीं. त्यांच्या साह्यानें देखाव्याच्या चित्राबरोबरच एकाव्याचीं चित्रें घेतां येऊं लागलीं तीं अशीं. दूरात् भाषणाच्या पद्धतीनें एका वैद्युत सरणीमध्यें ध्वनितरंग उतरवून घेतात. आतां या सरणींत एक दिवा ओवलेला असतो. या दिव्याच्या दीप्तींतही

तसेच तरंग उत्पन्न होतात. या दिव्याचा उजेड, चित्रें घेतांना चित्रपट्टीच्या किनारींत पडेल अशी योजना असते. चित्रपट्टी सरकतां सरकतां, तिजवर या दिव्याच्या उजेडानें अंधुक किंवा ठळक छटा उमटतात. हाच ध्वनितरंगाचा लेख म्हणावयाचा.

ध्वनिवाचन.

ध्वनिलेखावरून ध्वनि वदवून दाखवण्याकरतां एका आधुनिक शोधाचा उपयोग झाला आहे. तो शोध विजेरी किंवा जनित्र यांच्या शोधाइतकाच महत्त्वाचा आहे. विजेरीनें जसें रसायन तेजापासून विद्युत्–तेज मिळतें किंवा जनित्रानें वेगीय शक्तीपासून विद्युत्–तेज मिळतें तसेंच तें प्रकाशापासूनही मिळावें ही गोष्ट अगदीं संभवनीय वाटते, पण तिची प्रचीति कशी पाहावी ?

सामुद्र, पालाश, इत्यादि अल्क धातूंची विशेष रचना करून एक करंड तयार करतात. त्याजवर प्रकाश पडला असतां त्याच्या तीव्रतेनुरूप विजेची वहाळ मिळूं शकते. ध्वनिलेख वाचून दाखवण्याकरतां हीच प्रयुक्ति वापरतात. चित्रपट्टीच्या किनारींतून मागल्या दिव्याचा जो प्रकाश पुढें येतो तो या प्रकाश–वैद्युत करंडावर पाडतात. हा प्रकाश मूळच्या ध्वनितरंगांच्या अनुरोधानें दाट विरळ होत असतो. त्यामुळें या करंडांतून निघणाऱ्या विजवहाळींतही तसेच तरंग उद्भवतात. हीच वहाळ एका महावक्त्रास पोचलेली असते. या वक्त्राचें तकट मूळचे ध्वनितरंग जसेच्या तसेच बोलून दाखवितें.

द्वारक

एकसाथ नेमक्या वेगानें चालणारीं चलित्रें आणि प्रकाश–वैद्युत करंड याखेरीज तिसरी एक चीज बोलपटाच्या कामीं उपयोगी पडणारी आहे, ती म्हणजे द्वारक (व्हाल्व्ह). ह्या चिजेच्या योगानें

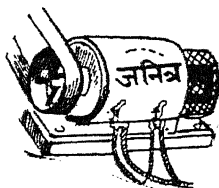
साध्या वक्त्राचें महावक्त्र बनवतां येतें. एकाद्या फुगट भिंगाच्या साह्यानें जसें लहान बिंबाचें मोठें प्रतिबिंब करून घेतां येतें, म्हणजे बिंबाची आकृति यत्किंचितही न बिघडवतां आकार मात्र वाढवून घेतां येतो, तद्वतच या द्वारकाच्या योगानें विजेची वहाळ, तिच्यांतील तरंग मुळींच न बिघडवतां, वाढवून घेतां येते. साधें वक्त्र चारदोन इंच अंतरावर आवाज देईल, परंतु बोलपटाच्या कामाला त्यांचा कांहीं उपयोग नाहीं. या कामाला शेंपन्नास हातावर ऐकूं जाईल एवढा आवाज देणारें वक्त्र पाहिजे. तें द्वारकाच्या योगानें साधतें. हें द्वारक इंग्रज विद्वान् सर अँब्रोज फ्लेमींग यानें काढलें आहे. बिनतारी संदेशनाच्या कामामध्यें तर हें द्वारक अग्रगण्यच आहे.

प्रश्न.

प्रकाश—वैद्युत करंड व द्वारक यांचा बोलपटामध्यें काय उपयोग ?

उपसंहार.

गिलबर्टपासून फ्लेमिंगपर्यंत विजेची उपासना अनेक विद्वानांनीं केली. पहिल्यांदा त्यांतील कांहीं जणांना विपत्तींत तिनें पाडलें; परंतु एवढ्या या सवातिनशें वर्षांच्या उपासनेनें प्रसन्न होऊन, ती आपल्या भक्तांची परम तत्पर दासी बनली आहे असें आज अनुभवास येत आहे !



सामान्य सूचि व परिभाषाकोश



(सूचनाः--आकडे पृष्ठांक समजावे.)

विशेषनाम सूचि

मुंबई विद्यापीठाच्या प्रवेशपरीक्षेच्या अभ्यासक्रमास
अनुसरून लिहिलेलें अभ्यासपुस्तक

प्रकाश-ध्वनि-विज्ञान.



लेखक—

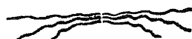
मल्हार विनायक आपटे

बी. एस्सी; एम्. बी. बी. एस्.

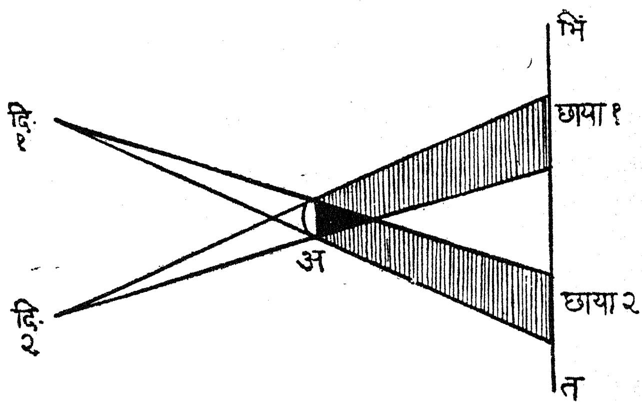
मुद्रक व प्रकाशक—

शंकर नरहर जोशी,

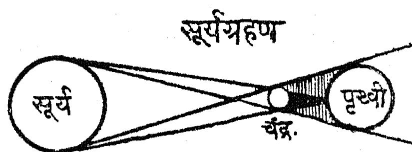
'चित्रशाळा प्रेस' १०२६ सदाशिव पेठ, पुणें २.



मूल्य बारा आणे.



(पृ. ४)



(पृ. ६)

निवेदन

प्रकाश–ध्वनि–विज्ञान

'रंग आणि तरंग' या पुस्तकांत जो विषय मी थोड्याबहुत विस्तारानें आणि लौकिक निदर्शनाकडे कल ठेवून वर्णिला, तोच विषय किंचित् संक्षेपानें आणि शालेय शिक्षणाकडे कल ठेऊन येथें वर्णिला आहे. तरंगदृष्टच्या प्रकाशविवेचन अद्यापि मराठींत कोणी लिहिलेलें माझ्या पाहाण्यांत नाहीं. हल्लींच्या शास्त्रीय ज्ञानाच्या अवस्थेकडे लक्ष्य दिलें असतां, असें विवेचन आरंभापासूनच विद्यार्थ्यांपुढें होणें अवश्य आहे. माझ्या कांहीं विद्वान् मित्रांच्या मतें, असें करण्यानें समजुतीचा घोटाळा होण्याचा संभव आहे. या मताचा आदरपूर्वक विचार करून, असा घोटाळा होऊं नये म्हणून पूर्ण दक्षता घेतली आहे. तरंगदृष्टीनें प्रकाशकिरणांचें परिवर्तन समजून घेण्यास मदत होईल असा माझा विश्वास आहे. प्रकाशविज्ञान शिकणारांनाच ध्वनिविज्ञानही शिकावयाचें असल्यामुळें तरंगविज्ञान अपरिहार्यच आहे. मग त्याचा होईल तितका उपयोग कां करून घेऊं नये ?

आरसे आणि भिंगें यासंबंधीं गणिती विवेचन प्रकरणाअखेर किंवा स्वतंत्र प्रकरणांत केलें आहे. प्रथम वाचनांत तें गाळलें तरी चालेल.

पूर्वी 'सृष्टिज्ञान' व 'भारतीय संगीत' या मासिकांत मी लिहिलेल्या लेखांकरतां केलेले आकृतींचे ठोकळे त्या त्या मासिकांच्या व्यवस्थापकांनीं येथें वापरण्याकरतां दिले, याबद्दल मी त्यांचा फार आभारी आहे.

२८१ सदाशिव पेठ पुणे
ता. २०।१।३६

अनुक्रमणिका

प्रकाशविज्ञान

शुद्धिपत्र

पृष्ठ ७ वरील प्रश्न (२) 'एक ४० वॅटचा दिवा' असें वाचावें.

ध्वनिविज्ञान

प्रकाशविज्ञान



प्रकरण १

दीप आणि दीप्ति.

बाह्य जगाचें आपणांस जें ज्ञान मिळतें त्यांतलें पुष्कळसें ज्ञान नेत्रद्वारां मिळालेलें असतें. जें बाह्य तेज नेत्रांत शिरल्यानें हें ज्ञान उत्पन्न होतें तें तेज म्हणजेच प्रकाश होय. दिवसा आपल्या बहुतेक व्यवहारांत आपण सूर्याच्या प्रकाशाचा उपयोग करतों. परंतु रात्रीच्या प्रहरीं आपणांस दिव्याच्या प्रकाशांत काम करावें लागतें. प्रयोगशाळेमध्यें दिवसासुद्धां सूर्यप्रकाशापेक्षां दीपप्रकाश अधिक स्वाधीन असल्यामुळें दिव्यांच्याच प्रकाशाचा पुष्कळ उपयोग होतो. व्यवहारामध्यें नानाप्रकारचे दिवे उपयोगांत आहेत. म्हणून त्यांमध्यें तारतम्य, सरसनिरसपणा ठरवतां येणें फार अगत्याचें आहे.

दिवा हा उजेड देण्याकरतां वापरावयाचा. तेव्हां साहजीकच त्याची योग्यता ठरवतांना असा प्रश्न उद्भवतो कीं, दिवा प्रकाश किती देतो? यावर पुनः प्रश्न असा. प्रकाश मोजावयाला एकधेय (माप) कोणतें घ्यावें? सर्व मापनें म्हणजे एकप्रकारें तोलनेंच आहेत. या तोलनाकरतां एक शिक्क्याचें माप लागतें. आपल्याजवळ एकादा शिक्क्याचा दिवा पाहिजे म्हणजे, त्याच्याशीं ताडून पाहून अमुक दिवा त्याच्या इतके पट उजेड देतो, इत्यादि प्रकारें मोजणी करतां येईल. समजा असा एक शिक्क्याचा दिवा तयार असला, तर त्याच्या साह्यानें तरी 'तुलना करणें' कसें

साधावयाचें ? यासंबंधीं कांहीं एक रीत म्हणून ठरविलीच पाहिजे. नुसते दोन दिवे शेजारीं शेजारीं ठेवले तर त्यांकडे केवळ दृष्टि लावून त्यांची दीप्ति (उजेड देण्याचा गुण) एकाच्या अमुक पट दुसऱ्याची अशी सांगतां येणार नाहीं. फार झालें तर एकापेक्षां दुसरा कमी किंवा अधिक दीप्तीचा आहे इतकेंच सांगतां येईल.

समजा एकाद्या दिव्याच्या उजेडांत आपण पुस्तकाचें पान उघडून वाचीत आहों, आणि या पानावर भासणारा दिव्याचा उजेड (यालाच प्रभास असें म्हणूं या) फार आहे असें आपणांला वाटलें, तर आपण काय करतों ? आपण दिव्यापासून अधिक दूर जातों. उलट पानाची प्रभास* कमी आहे असें वाटलें तर काय करतों ? दिव्याच्या अधिक जवळ जातों. आपला असा अनुभव आहे कीं, दिव्यापासून आपण जसजसें दूर जावें तसतसा त्या ठिकाणीं पोचणारा त्याचा प्रकाश विरळ होत जातो. हा उजेड थेट आपल्या डोळ्यांत घेणें बहुधा गैरसोईचें आणि कधीं कधीं अपायकारक असतें; म्हणून सुरक्षितपणाचा मार्ग म्हणजे असा कीं, हा उजेड एकाद्या पडद्यावर घेऊन त्या पडद्याकडे आपण पाहावयाचें. या कामीं एकादा स्वच्छ पांढरा टिपकागद किंवा खरचट काच यांचा उपयोग करतात. या कामीं आरशासारखा उत्तम परावर्तक योजला तर थेट उजेड डोळ्यांत घेण्याइकाच डोळ्याला त्रास होतो. उलट काळा किंवा मळकट पडदा घेतला तर त्याची उजळाई पाहिजे त्याहून फारच कमी पडते.

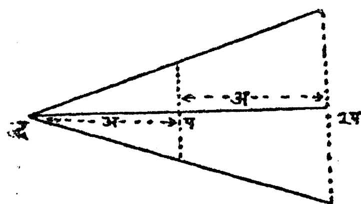
कोणत्याही पृष्ठाची उजळाई दोन गोष्टींवर अवलंबून असते. (१) दिव्यानें दिलेल्या प्रकाशाची यत्ता (दाटविरळपणा) आणि (२) स्वतः त्या पृष्ठाचा प्रकाश पतरवण्याचा गुण. म्हणून सर्व

* प्रभास = प्रकाशाचा दाट-विरळपणा, तीव्रता, पृष्ठावर भासणारी उजळाई.

प्रसंगीं आपण एकच एक पृष्ठ वापरलें तर त्याची उजळाई दिव्यानें त्यावर पाडलेल्या प्रभासेच्या मानानेंच नेमकी कमजास्त होईल. पुढील मापनामध्यें पडदा म्हटला म्हणजे तो सर्व बाबतींत एक-सारखा एकच वापरावयाचा असें समजावें.

आपण एका पडद्यावर शेजारीं शेजारीं दोन दिव्यांचे दोन कवडासे टाकले तर त्या ठिकाणची प्रभास एकदम एका वेळीं डोळ्यांनीं पाहून आपणांला त्यांतलें तारतम्य समजून येतें. समजा त्यांतल्या एका कवडशाची प्रभास दुसऱ्यापेक्षां कमी ठरली तर पहिला दिवा अलीकडे ओढून थोड्याशा जुळवणीनें दोनही कवडसे सारख्या प्रभासेचे करतां येतात. असें झालें म्हणजे पडद्यावर प्रत्येक दिव्यानें टाकलेला उजेड सारख्याच तीव्रतेचा (दाटविरळ-पणाचा) आहे असें ठरतें. या तपासणीमध्यें एका दिव्याचें अंतर पडद्यापासून दोन हात आणि दुसऱ्याचें चार हात असलें तर, चार हातांवरती असलेल्या दिव्याची दीप्ति दोन हातांवरच्या दिव्याच्या दीप्तीच्या किती पट असते ? म्हणजेच चार हातांवरचा दिवा दोन हातांवर ठेवला तर तो पडद्यावरची प्रभास किती पटीनें वाढवील ? हाच काय तो मुद्द्याचा प्रश्न आहे.

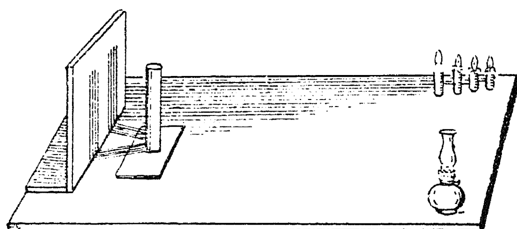
समजा आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें द येथें एक दिवा आहे. त्यापासून अ अंतरावर एक चौरस लाकडी पडदा आहे, व २ अ अंतरावर एक भिंत आहे. अशा प्रसंगीं भिंतीवर पडद्याची छाया पडलेली आढळते. पडद्याच्या काठापलीकडचे किरण थेट सरळ भिंतीवर जातात पण पडद्यावरचे किरण मात्र तेथें अडतात.



आ. १

साहजिकच छायेची लांबीरुंदी पडद्याच्या लांबीरुंदीच्या दुप्पट भरते, आणि एकंदर छायेचें क्षेत्र पडद्याच्या चौरस भरतें. (पडदा व भिंत एकमेकांस समांतर आहेत.) पडद्यानें जो उजेड अडविला तोच एरवीं सावलीच्या जागीं पडावयाचा हें उघड आहे.

प्रकाशाच्या फैलावासंबंधाच्या या ज्ञानाचा उपयोग आतां दीप्ति मापण्याकडे कसा करावयाचा तें पाहूं या. २ अ अंतरावरून एक



आ. २

दिवा जितका प्रकाश देतो त्याच्या किती पटींनीं प्रकाश तोच दिवा अ अंतरावरून (तेवढ्याच पृष्ठभागावर) देईल? या प्रश्नाचें उत्तर पाहिजे होतें. तें 'चौपट' असें वरील विचारावरून मिळतें. अर्थात् अ अंतरावरून जितका उजेड एक दिवा देतो तितकाच उजेड जर दुसरा दिवा २ अ अंतरावरून देत असेल तर दुसऱ्याची दीप्ति पहिल्याच्या ४ पट आहे असें ओघानेंच सिद्ध होतें. या विधानाचें प्रत्यंतरच पाहणें असेल तर चार सारख्या सारख्या मेण-बत्त्या घेऊन त्या अगदीं एकाला एक चिकटून ठेवाव्या आणि या गटाचा व्यवहार एक दिवा म्हणून करावा. हा दिवा चार बत्त्यांच्या दीप्तीचा झाला.

आतां या दोन दिव्यांच्या समोर एक पडदा धरावा, आणि मध्यंतरीं एक गज उभा करावा, म्हणजे त्याच्या दोन सावल्या पडद्यावर शेजारीं शेजारीं पडतील. अशा प्रसंगीं प्रत्येक सावलीमध्यें

एकेका दिव्याचाच उजेड असतो हें लक्ष्यांत आणलें असतां या मापनाचें मर्म कळून येतें. जरूर ती दिव्यांची सारासार करून दोनही सावल्या सारख्या सारख्याच दाट करून घ्याव्या. असें झाल्यावर दोनही दिव्यांच्या योगानें पडद्यावर सारखीच प्रभास उत्पन्न झाली, असें समजून दीप्तीचा हिशेब करावा. या अगदीं साध्या रीतीनें रस्त्यांतील दिव्यांच्या दिप्तीचें तारतम्य आपल्याला सहज मोजतां येतें. रस्त्यावर अंतराअंतरावर दिवे असतात. दोन दिव्यांच्या मध्यंतरीं जरी आपण स्वतः उभें राहिलों किंवा हातांतली काठी उभी केली तर दोन्हीकडे दोन सावल्या पडलेल्या दिसतात. सावल्या सारख्याच दाट होतील अशी जागा हुडकून काढावी आणि तेथून प्रत्येक दिव्याचें अंतर मोजून दीप्तीचा हिशेब करावा. या कामीं उपयोगी पडणारें सूत्र असें—

$$दी^{१} : दी_{२} : : अ_{१}^{२} : अ_{२}^{२}$$

दी = दीप्ति. अ = पडद्यापासून दिव्याचें अंतर.

लांबीची किंवा वजनाची मोजणी करण्याकरतां, जसें त्या त्या जातीचें एक एक आप्तमान सर्वमान्य संकेतानें ठरवलेलें आहे, तसेंच दीप्तीचें मापन करण्याकरतां, एक दीप्तीचें आप्तमान ठरवलेलें आहे. दिव्यांची दीप्ति (कॅण्डलपॉवर) अमुक बत्त्या असें म्हणतात.

दीप्तीचें एकधेय पूर्वीं सर्वमान्य संकेतानें ठरलें होतें तें असें:— एका तासांत १२० ग्रेन (६० गुंजा) स्पर्म मेण ज्यांत जळतें अशी बत्ती. अशा बत्तीचा व्यास $\frac{७}{८}$ इंच असावा असा संकेत असे.

दीप्तीच्या एकधेयाचा उल्लेख नुसता बत्ती या शब्दानें करण्याचा प्रघात या मेणबत्तीवरून पडलेला आहे.

हल्लीं आप्तमान म्हणून विजेचे दिवे तयार करून ठेवलेले आहेत.

दिवा, मेणबत्ती		दीप्ति १ बत्ती	
	टेबलावरचा चपट्या वातीचा, राकेलचा	८	
वैद्युत, हातबत्ती		१–२	
	पायगाडीच्या जनित्रावरील	१०	
	टेबलावरचा गुरगुती	१६	
	रस्त्यावरील साधा	५०–१००	
	आर्चिक दीप (चित्रपट दाखवण्याकरतां)	५००–१०००	
	दीपगृह किंवा आगगाडीच्या एंजिनावरील	१०००–१००००	

दिव्यासंबंधीं दोन लहानशा गोष्टी ध्यानांत ठेवण्याजोग्या आहेत. (१) दिव्याची ज्योत चपटी असली तर तिची दीप्ति वेग-वेगळ्या दिशेंत वेगवेगळी असते. वातीच्या अनुगत दिशेमध्यें दीप्ति कमी, आणि वातीच्या काटकोनांत दीप्ति अधिक, असा प्रकार आढळतो. विजेच्या दिव्यासही तोच न्याय लागू पडतो. या दिव्यांत एक तंतु तेवत असतो. हा तंतु ज्या पातळींत मांडलेला असेल त्या पातळीला अनुसरून त्याची दीप्ति कमी, आणि त्या पातळीच्या काटकोनांत दीप्ति बहुधा अधिक असते असें आढळतें.

(२) दिव्याचा जो भाग तेवत असतो तो भाग बिंदुमात्र कधींच नसतो; त्याला कांहीं रुंदी म्हणून असतेच. त्यामुळें परिणाम असा होतो कीं, मध्यंतरीं आलेल्या आडोशाच्या ज्या सावल्या पडाव-याच्या त्यांचे कांठ आंतल्या भागाइतके दाट नसतात. कांठामध्यें तेवत्या प्रदेशाच्या कांहीं भागांतून उजेड पोंचतो, इतरांतून पोंचत नाहीं. छायेच्या अंधुक कांठाला उपच्छाया म्हणतात. आडोशाच्या मानानें प्रकाशाचा उगम जितका मोठा तितकी उपच्छाया विस्तृत होते. पृथ्वी आणि सूर्य यांच्या बाबतींत ही गोष्ट विशेष ठळक-पणें नजरेस येते.

वर आपण दीप्ति मोजण्याची रीत पाहिली आहे. परंतु प्रकाश

कसा मोजावा या गोष्टीचा विचार राहिलाच आहे. तो आतां करूं या. पाणी जसें नळांतून बाहेर पडत असावें किंवा भात्यांतून जसा वारा बाहेर पडावा तसाच दिव्यांतून प्रकाश बाहेर पडत असतो. दीप्ति म्हणून जें आपण माप ठरवलेलें आहे तें खरोखरी प्रतिक्षणीं किती प्रकाश बाहेर पडतो, याचें माप आहे. दीप्तीवरून प्रकाश बाहेर टाकण्याचा वेग ठरतो. विपळागणिक दोन वाट्या असा पाणी बाहेर पडण्याचा वेग असला तर, किती पाणी बाहेर पडलें हें ठरवावयास, अशा वेगानें तें किती वेळ बाहेर पडत होतें तें कळावयास पाहिजे. म्हणजे

वेग × वेळ = बाहेर पडलेल्या पाण्याची यत्ता

असें उत्तर काढतां येईल. वरील वेगानें जर ५० विपळें पाणी बाहेर पडलें तर १०० वाट्या पाणी बाहेर पडलें असें सांगतां येतें. याच न्यायानें प्रकाशाची यत्ता मोजण्याची रीत ठरते ती अशी:— दीप्ति × काल.

२ बत्त्या दीप्तीचा दिवा जर ४ तास चालू असला तर त्यानें ८ ' बत्त्यातास ' इतका प्रकाश दिला असें सांगतात.

प्रश्नावलि

(१) एक दिवा ५० बत्त्या दीप्तीचा आहे असें सांगतात. तें खरें आहे कीं नाहीं तें कसें तपासावें ? ५ बत्त्या दीप्तीचा एक दिवा उमलब्ध आहे.

(२) एक दिवा एक वॉट गणिक ०·८ बत्ती दीप्ति देतो. तो रोज तीन तास तेवत असला तर महिन्यांत प्रकाश किती देतो ? वैद्युत शक्तीचा भाव ८ आणे किलोवॉट तास आहे, तर प्रकाशाचा भाव काय पडला ? एक हजार बत्त्यातासांचें मोल काय ?

(३) उपच्छाया म्हणजे काय ? ती कशामुळें उत्पन्न होते ?

प्रकरण २.

सपाट आरसे.

आपणांस स्वतःचाच मुखवटा पाहावयाचा असला किंवा देखाव्याला प्रतिदेखावा मांडून एखाद्या आराशीला शोभा आणावयाची असली म्हणजे आपण आरशाचा उपयोग करतों. आरशांत बिंबाला प्रतिबिंब नुसतें दिसतें, हातीं लागत नाहीं, हा चमत्कार फार प्राचीन काळापासून कळून आलेला आहे. चमत्कार आणि शास्त्र यांचें मूलतःच वाकडें आहे. सामान्य आणि चमत्कार या दोहोंची छाननी करून, त्या दोहोंतून ओवून घेतां येईल असें सूत्र शोधून काढणें, म्हणजे शास्त्र रचणें होय. आरशांच्या बाबतींत शास्त्ररचना कशी झालेली आहे ती थोडीशी पाहून घेऊं या.

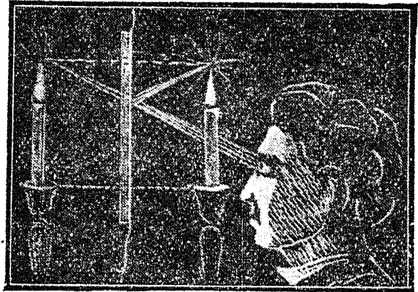
समजा, एकाद्या टिंबापासून प्रकाश निघत आहे. अर्थात् तो सभोंवार सर्व दिशांस पसरत आहे. त्या टिंबांतून निघालेल्या असंख्य किरणांपैकीं थोडेसे आपल्या डोळ्यांत शिरतात आणि तेथें प्रकाशसंवेदना उत्पन्न करतात. प्रकाशमान टिंबाकडे पाहून केवळ प्रकाश आहे एवढेंच कळतें असें नाहीं, तर तो अमूक ठिकाणाहून येत आहे असेंही कळतें. खरें पाहिलें असतां डोळ्यांमध्यें शिरतांना किरणदिशा कोणती असते, तेवढेंच डोळ्याला तात्काळ अनुभवास येतें. परंतु वर्षानुवर्ष घेतलेल्या एकंदर अनुभवावरून असें अनुमान मनामध्यें अगोदर घटून गेलेलें



आ. ३

असतें कीं, ज्या दिशेनें किरण डोळ्यांत येत असतील त्याच दिशेंत त्यांचा उगम झालेला असतो. प्रकाशकिरण हे सरळमार्गी असतात, असा डोळ्यांचा पक्का विश्वास बसलेला असतो. या विश्वासावरूनच पाहिलेला पदार्थ कोठें आहे, केवढा आहे, कोणत्या आकृतीचा आहे, इत्यादि प्रश्नांचा निर्णय दर्शनेंद्रिय देत असतें. बिंबांतल्या प्रत्येक टिंबाचें स्थान कळलें म्हणजेच एकंदर बिंबाचा आकार आणि आकृति हीं ठरतात.

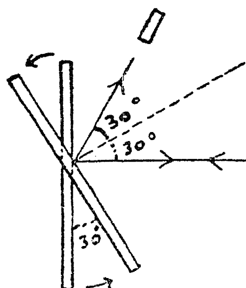
डोळ्यांत प्रवेश करणाऱ्या किरणशंकूंच्या निमुळतेपणामुळें डोळ्याला उगमाच्या स्थलाचा निर्णय करतां येतो, कारण उगम जितका दूर तितका शंकू अधिक निमुळता असतो. हीच गोष्ट दुसऱ्या रीतीनें सांगतां येते ती अशी. डोळ्यामध्यें जे किरण प्रवेश करतात त्यांचे प्रवेशमार्ग सरळ रेषेंत वाढवून ते ज्या ठिकाणीं मिळतील त्या ठिकाणीं त्यांचा उगम असतो, अशी दर्शनाच्या इंद्रियाची समजूत असते. अशा रीतीनें मनामध्यें जें किरणचित्र उमटतें त्यांत प्रकाशकिरण एका टिंबापासून डोळ्यांपर्यंत सरळ फुलत गेलेले असतात. ही त्याची फुलावट जितकी अधिक तितकें त्याचें स्थान डोळ्याला अधिक जवळ. असा संकेत ठरलेला असतो.



आ. ४

आतां आरसा पुढें ठेवून बिंब आणि प्रतिबिंब यांच्याकडे पाहिलें असतां असें आढळतें कीं, बिंबांतील प्रत्येक टिंबागणिक प्रतिबिंबांतही एक एक टिंब आहे, आणि तीं सर्व टिंबें आरशाला अनुलक्षून

समात्रतेनें रचलेलीं आहेत. म्हणजे असें कीं कोणतेंही टिंब त्याच्या प्रतिटिंबास जोडलें असतां जोडणारी रेषा आरशाच्या काटकोनांत येते आणि त्यानेंच बरोबर दुभंगली जाते. डाव्या उजव्या बाजूला अगदीं केसन् केस जशास तसा लावून मधोमध भांग पाडावा, तसाच एकीकडे बिंब आणि दुसरीकडे प्रतिबिंब ठेवून आरशाचा भांग केलेला असतो. आरशासंबंधीं बोलतांना त्याच्या तळक्याला काटकोनांत असलेल्या रेषांना अनुलक्षून बोलणें पुष्कळ वेळां सोईचें असतें. म्हणून अशा रेषांना स्तंभिका असें नांव देऊं. आरसा सपाट असला म्हणजे टिंब व प्रतिटिंब जोडणाऱ्या सर्व रेषा स्तंभिकाच असतात.



आ. ५

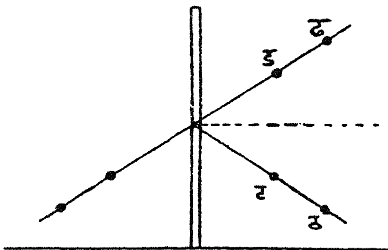
आपण आरशांत पदार्थाचें प्रतिबिंब पाहात असलों, म्हणजे डोळेच फक्त असें सांगतात कीं, आरशाच्या मागें एक प्रतिपदार्थ आहे. इतर इंद्रियांचा पुरावा याविरुद्ध असतो आणि तोच आपण खरा मानतों. अशा प्रसंगीं डोळ्यांनीं आपलें इमान सोडलें असें मानण्याचें कारण नाहीं. डोळ्यांत प्रवेश करणाऱ्या किरणांची दिशा त्यांनीं बरोबर सांगितली. परंतु ती आगाऊच आरशानें पालटून दिलेली असल्यामुळें किरणांचा उगम कोठें झाला याबद्दल डोळ्यांचा निर्णय चुकीचा ठरला इतकेंच. सपाट आरशावरून प्रकाशकिरणांचें जें परावर्तन होतें त्यांत कोणता नियम आहे तें पुढील अगदीं साध्या प्रयोगावरून कळून येईल.

प्रकाशाचा एक कवडासा घेऊन तो एका नळींतून एका आरशा-वर पडूं द्या. (आ. ५) प्रथम आरसा नळीशीं काटकोनांत ठेवा म्हणजे

दिसून येईल कीं, किरण आल्या वाटेनेंच परत जातात. नंतर आरसा ३०° मधून फिरवा. आतां आरशावरून परतणारा कवडासा दिसल तो दुसऱ्या एका नळींतून वेधून घ्या. दोनही नळ्यांमधला कोन ६०° आहे असें आढळेल. आरसा ३०° फिरवल्यानें स्तंभिकाही ३०° फिरली आणि आगत किरण एका बाजूला ३०° सरकल्याबरोबर परागत किरणही दुसऱ्या बाजूला ३०° च सरकला.

आगतकोन केवढाही करा परागतकोन बरोबर तेवढाच होतो.

वरील दोनही पद्धतींपेक्षां पुढील पद्धतीनें बारकाई अधिक साधते ती पद्धत अशी. अ आ येथें एक आरसा ठेवावा आणि प्रथम त्याच्यापुढें ट आणि ठ येथें दोन टांचण्या रोवाव्या. आतां आरशांत त्यांचीं प्रतिबिंबें दिसतील त्यांच्या रेषेंत आणखी दोन ड, ढ, या टाचण्या रोवाव्या. ट ठ आणि ड ढ या दोनही रेषा



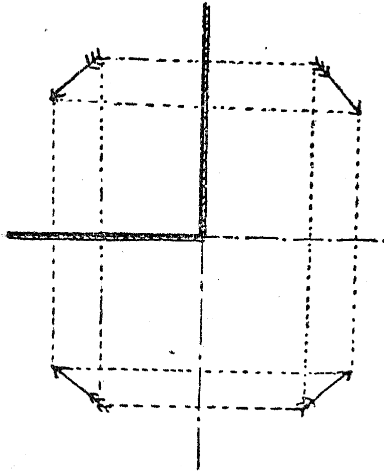
आ. ६

आरशापर्यंत वाढवल्या म्हणजे एकत्र मिळतात, आणि या मिलाफाच्याजागीं जर आरशास स्तंभिका काढली, तर

त्यायोगें आयात किरण व परावर्तित किरण यांच्यांमधील कोन, त्या स्तंभिकेनें बरोबर दुभंगला जातो.

समात्ररचनेनें दर्शनेंद्रियाला जें स्वाभाविक सुख व्हावयाचें तें अगदीं थोड्या खर्चांत मिळविण्याचें साधन सपाट आरसा हें आहे. आरसा हा बिंब आणि प्रतिबिंब यांच्यामधील समात्ररचनेचा तळका (पातळी) होतो. दोन आरसे एकाला एक कोन करून ठेवले

असतां समात्ररचनेला दोन तळके मिळतात. दोनही आरशांत या कोनाचीं प्रतिबिंबें कोनरेषेच्या सभोंवार एका वर्तुळांत रचलेलीं दिसतात. या सर्व कोनांची बेरीज ३६०° असणार हें उघडच आहे. मूळ आरशामधला कोन ३६०° त जितके वेळां बसतो, तितकी संख्या बिंब व प्रतिबिंब म्हणून असते. यांतलें एक बिंब आणि अर्थात् राहिलीं तीं प्रतिबिंबें होत. आरसे समांतर झाले म्हणजे त्यांच्यांतला कोन शून्य होतो. बिंब आणि प्रतिबिंबें एका सरळ रेषेंत येतात.



आ. ७

रेषेला वळण नाहीं म्हणून प्रतिबिंबसंख्येला अंत नाहीं. रेषा नुसती लांबतच जावयाची, तिला वळसा घालतां यावयाचा नाहीं.

दोन समांतर आरसे घेऊन मध्यें दोन झाडांची एक कमान करून ठेवली तर किती सुंदर देखावा दिसतो ! जगू दुतर्फा झाडी लावून एक लांबच लांब रस्ता तयार केला आहे.

दोहोंच्या जोडीला एक तिसरा आरसा घेऊन ते एकामेकांला संमुख व समभुज त्रिकोण साधून ठेवावे. म्हणजे फारच मौज दृष्टीस पडते. एकालाएक खेटून व समात्रतेनें रचलेले असे अनेक त्रिकोण दृष्टीस पडतात. मूळ आरशांच्या त्रिकोणांत जो व्यूह रचावा त्याच्या आवृत्त्या सर्वत्र दृष्टीस पडतात. एका नळींत तीन सपाट आरशांच्या पट्ट्या अशा रीतीनें मांडाव्यात. नळीचीं दोनही तोंडें

काचेच्याच चकत्यांनीं बंद करावीं आणि मध्यंतरीं काचेचे पैलूदार खडे टाकावेत. नळी पाहिजे तशी फिरविली म्हणजे वेगवेगळे व्यूह उत्पन्न होतात, आणि त्यांचीं व्यवस्थेनें मांडलेलीं प्रतिबिंबें, सुंदर सुंदर देखावे डोळ्यांपुढें मांडून दाखवितात. अशा नळीस **शोभादर्श** (कॅलेडॉस्कोप) असें नांव आहे.

प्रतिबिंब हा देखावा पाण्याच्या पृष्ठावर सहजच दिसतो. तसाच तो निर्मळ धातुपृष्ठावरही दिसतो. त्यांतल्या त्यांत तो रुप्याच्या पृष्ठावर विशेष चांगला दिसतो. आपण हल्लीं जे आरसे वापरतों त्यांत कांचेच्या मागें रुप्याचा थर असतो. तोच खरोखरी परावर्तक असतो, काच नव्हे. हवा-पाण्यानें धातुपृष्ठ मलिन होऊं नये म्हणून, आणि धातूचा लेप फार पातळ असल्यामुळें त्याला आधार पाहिजे म्हणून, काच वापरावी लागते. काचेनें प्रकाश परतवला जातो असा फार थोडा, बहुतेक प्रकाश पलीकडेच जातो.

टाचण्या लावून वेध घेण्यामध्यें किंवा नळींतून वेध घेण्यामध्यें काय उद्देश असतो तो वाचकांच्या ध्यानांत आलाच असेल. आपण जेव्हां कोणत्याही एका पदार्थावर दृष्टि रोखतों, तेव्हां आपल्या दोन डोळ्यांच्या दोन दृष्टिरेषा लक्ष्य पदार्थावर एकमेकींस मिळालेल्या असतात. जर दोन टिंबें एका डोळ्यानें एका आड एक दिसलीं तर तीं दुसऱ्या डोळ्याला एका आड एक येणार नाहींत हें निश्चित आहे. कारण एका आड एक यावयाचीं म्हणजे तीं एका कोणत्या तरी दृष्टिरेषेंत यावयास पाहिजेत. दोनही रेषांत एकदम येणें शक्य नाहीं. दोन सरळ रेषांना सामान्य असा एकच बिंदु असतो, दोन नसतात. अर्थात् पदार्थ एकामागें एक बरोबर आले कीं नाहीं हें आपण एका डोळ्यानेंच पाहिलें पाहिजे. दोन डोळ्यांनीं पाहण्यामुळें आपणाला देखाव्याची खोली कळते, पण प्रस्तुत प्रसंगीं आपल्याला खोली नको आहे, रुंदी पाहिजे आहे.

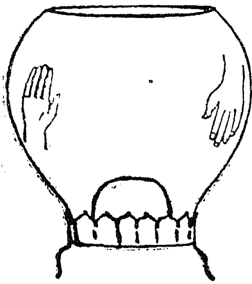
प्रकरण ३.

बाकदार आरसे.

सपाट आरशांच्या मानानें पाहतां बाकदार आरशांशीं आपला परिचय पुष्कळ कमी. तथापि अगदीं आरसे म्हणून नाहीं, परंतु इतर कामाकरतां आरसेवजा जिन्नस, बाकदार पृष्ठ असलेले असे, आपल्या कमी पाहण्यांत आहेत असें नाहीं. रूपेरलेले काचेचे फुगे, चांदीच्या लोट्या, तबकें, खिशांतल्या घडाळाच्या झांकण्या, इत्यादि जिनसा बाकदार पृष्ठाच्या असून, त्यांत छोटीं मोठीं प्रतिबिंबें दिसतातच कीं नाहीं? आपण अगदीं रोजच्या पाहण्यांतलें उदाहरण घेऊं या.

साश्रय व अनाश्रय प्रतिबिंबें.

दिव्यांच्या ज्योतीभोंवतीं चिमण्या म्हणून ज्या आपण वापरतों त्यांचा पुष्कळसा भाग गोलसर असतो. दिवसा उजेडीं अशी एकादी चिमणी खोलीमध्यें खिडकीसमोर धरावी. म्हणजे खिडकींतून येणारा प्रकाश चिमणीवर पडून तिजमधून पलीकडे जातो. चिमणींत शिरतांना तो फुगट भागांतून शिरतो आणि बाहेर पडतांना अर्थात् खोलगट भागांतून बाहेर पडतो. दोनही प्रसंगीं त्याचा थोडा अंश परत फिरतो, त्यामुळें दोन छोटीं छोटीं प्रतिबिंबें उमटतात. दोनही प्रतिबिंबें चिमणीच्या कोठ्यांतच दिसतात. एक पहिल्या फुगट भागाच्या किंचित् मागें, आणि दुसरें खोलगट भागाच्या किंचित् पुढें दिसतें.



आ. ८

येथें दुसरें प्रतिबिंब पहिल्यापेक्षां दोन बाबतींत तरी निराळें दिसतें. (१) त्यांत बिंबाच्या माथ्याचें प्रतिबिंब खालीं आणि

तळाचें वरती असा देखावा दिसतो. खिडकीच्या माथ्याची जाळी तळांत दिसते आणि तळसरी माथ्यांत दिसते. खिडकीमध्यें आपण आपल्या हाताचा पंजा धरला तर त्याचेंही पालथें प्रतिबिंब फुग्याच्या कोठ्यांत दिसतें. (२) दुसरें असें कीं, चिमणी एका हातांत धरून दुसऱ्या हाताचें बोट या दुसऱ्या प्रतिबिंबाच्या जागीं नेलें असतां पडद्यावर चित्र पडावें तसें हें चित्र त्या बोटावर पडतें. परंतु तसें पहिलें पडत नाहीं. चिमणीच्या आंतल्या अंगानें आपण एकादा कागद चिकटवला तर दुसरें प्रतिबिंब नाहींसें होतें. पण पहिलें जागच्याजागीं जसेंच्या तसेंच राहतें. खिडकीतून आलेल्या उजेडास अनुलक्षून बोलावयाचें म्हणजे चिमणीचा पहिला अर्धा भाग हा फुगट आरसा, आणि दुसरा अर्धा भाग खोलगट आरसा असतो. या खोलगट आरशावरून परतलेल्या प्रकाशानें हें दुसरें प्रतिबिंब उमटलेलें असतें. या दुसऱ्या प्रतिबिंबांत जसा प्रकाश निघालेला दिसतो तसाच तो खरोखरी निघालेला असतो; म्हणून त्यात सत्य किंवा साश्रय म्हणतात; आणि पहिल्यांत तसा नसतो म्हणून त्यास मिथ्या किंवा अनाश्रय म्हणतात.

उपपत्ति.

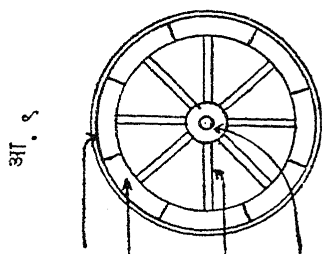
सपाट आरशांत जें प्रतिबिंब दिसतें तेंही मिथ्या किंवा अनाश्रयच असतें. ज्या किरणशंकूच्या योगानें आपणांस त्याचें भान होतें तो किरणशंकु वास्तविक बिंबांतूनच निघतो पण आरशानें तो कापला जातो. त्याचें टोंक बिंबांत आणि तळ आपल्या डोळ्यांत असतें. सपाट आरशानें किरणशंकूची फुलावट बदलत नाहीं, आणि म्हणून मिथ्या प्रतिबिंब आरशापासून बिंबाइतक्याच अंतरावर दिसतें. फुगट आरशावरून दिसणारें प्रतिबिंब बिंबापेक्षां आरशाच्या जवळ दिसतें. त्यावरून बिंबांतून निघालेला किरणशंकु मोडून परतवला जातो इतकेंच नव्हे तर, तो अधिक फुलता करून

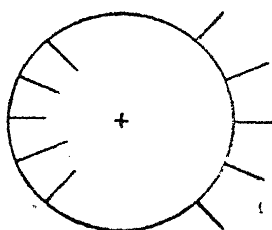
परतवला जातो असें ठरतें. कारण शंकूची फुलावट जितकी अधिक तितका त्यांचा उगम जवळ अशी डोळ्याची भावना असते. फुगट आरसा आगत किरणांना आपल्या फुगवटीला अनुरूप अशी फुलावट देतो, हें परावर्तन–नियमावरूनही सुचण्याजोगें आहे तें असें.

फुगट आरसे.

पृष्ठावरील स्तंभिकेशी जितका कल ठेवून एका अंगानें किरण येतो तितका कल ठेवून दुसऱ्या अंगानें तो जातो. सपाट आरशाच्या सर्व स्तंभिका समान्तर असतात, परंतु फुगट आरशाच्या वरच्या तशा नसणार हें उघडच आहे. भुईवर जसा खांब (स्तंभ) तशी परावर्तक पृष्ठावर स्तंभिका असते. पृष्ठ फुगट झालें म्हणजे अर्थात् त्यावरील स्तंभिका * फुलत्या असणार हें ठरलेंच.

* येथें गाडीच्या चाकाचा दाखला घेण्यासारखा आहे. आ. ९ हें एखाद्या गाडीच्या चाकाचें चित्र आहे. मध्यवर्ती तुंबा आहे. या तुंब्यांत अरे बसवलेले आणि अऱ्यांचीं दुसरीं टोकें पुठ्यांत बसवलेलीं असून सर्व पुठे धावेंत दाबून टाकले आहेत. चांगला सुतार एवढें गणित सहज शिकतो कीं, जितकी धाव





(धाव, पुठा, अरा, तुंबा, खोलगट व फुगट आरशाच्या स्तंभिका)

मोठीं करावी व पुठे बारीक करावेत, तितके पुठे सरळ पट्ट्यांच्या सारखे होऊं लागतात, आणि अरे व पुठे हे नेहमीं एकमेकांस काटकोनांत असतात. नवीन अभ्यासूंनीं एवढें ध्यानांत ठेवलें तरी पुरे कीं, गोलीय पृष्ठावरील स्तंभिका या त्या त्या ठिकाणच्या अररेषाच आहेत. पृष्ठ फुगट असलें म्हणजे या रेषा आपणांस गोलाबाहेर वाढवून घेतल्या पाहिजेत हें उघडच आहे.

स्तंभिका फुलत्या असल्या म्हणजे आगत किरण परावर्तनानें फुलवले जाणार हें ओघानेंच ठरतें. आतां ही फुलावट किती असते हें माहीत करून घेण्याकरतां ज्या किरणांना फुलावट नाहीं आणि मिलावटही नाहीं असे किरण घ्यावे. ते आरशाच्या अक्षाला समान्तर राहतील अशा रीतीनें आरसा धरावा. उदाहरणार्थः—सूर्याचे किरण एकाद्या लहानशा भोकांतून घ्यावे म्हणजे परावर्तनानंतर त्यांचा एक पसरता शंकु झालेला आढळेल. या शंकूचें टोक आरशाच्या मागें दिसतें. परंतु तें अनाश्रय असल्यामुळें त्याचें स्थान नक्की ठरवणें कठीण आहे. तथापि पर्यायानें तें ठरवतां येतें.

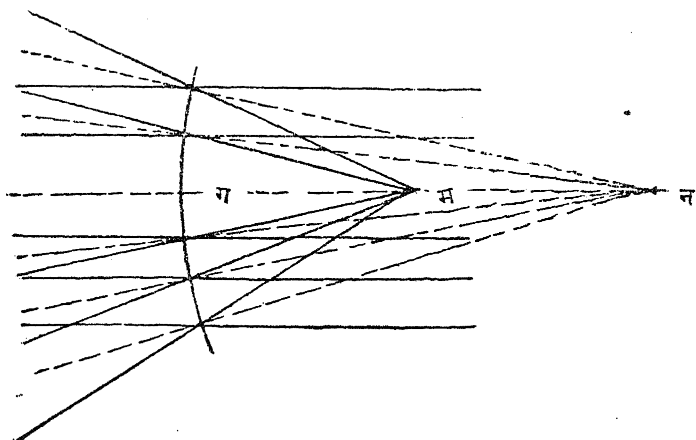
मघाच्या फुगट आरशाच्या इतकीच वक्रता असलेला एक खोलगट आरसा घ्यावा, आणि त्यावर अक्षाला समान्तर होईल अशी सूर्य-किरणांची शलाका घ्यावी, म्हणजे तिचा मिटता शंकु बनलेला आढळतो. या शंकूचें टोक आरशाचा गर्भ आणि वक्रतेचा मध्य (किंवा नाभि) यांच्या मधोमध असतो. या प्रसंगीं मूळच्या किरणांना फुलावट नव्हती आणि मिलावटही नव्हती. परिणामीं त्यांना मिलावट आली ती आरशाच्या स्तंभिकांच्या मिलावटीच्या दुप्पट* आली. हाच न्याय फुगट आरशासही लागू पडतो हें शेजारच्या आकृतीवरून दिसून येतें.

आरशांच्या स्तंभिकांना जितकी फुलावट किंवा मिलावट असते, त्याच्या दुप्पट फुलावट किंवा मिलावट, त्यावरून परतणाऱ्या किरणांना मिळते.

---

* शंकूची फुलावट (किंवा मिलावट) आणि त्यांची लांबी (तळ व टोक यामधील अन्तर) यांचें व्यस्त प्रमाण असतें. :एकाच तळावर दोन शंकू उभारले तर जो अधिक निमुळता त्याचें टोक तळापासून अधिक दूर जाईल हें उघड आहे. लांबी निम्मी म्हणून मिलावट दुप्पट म्हणावयाची.

शलाकेवर आरशाचा संस्कार



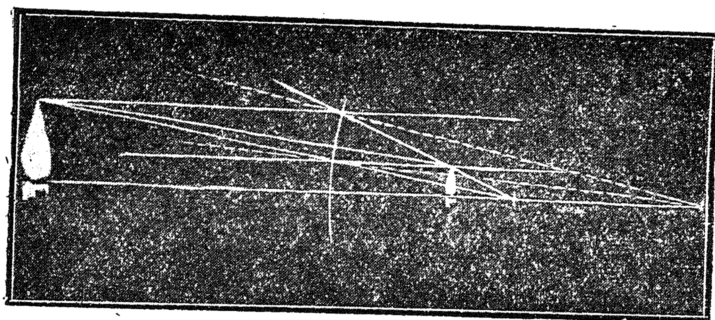
आ. ११

येथील कंस हा आरशाचा छेद आहे. याचें डावें अंग परावर्तक असल्यास हा फुगट आरसा होतो. यावर शलाकारूपानें आलेले किरण फुलत्या शंकूच्या रूपानें परततात. ते म या बिंदूत आरशाच्या मागील अंगानें निघाल्यासारखे दिसतात. म हा मुख्य केंद्र होय.

केंद्र म्हणजे किरण जुळण्याची जागा. मग ते किरण मूळचे शलाकेंतले असोत किंवा शंकूंतले असोत. किरण मूळ शलाकेंतले असले म्हणजे केंद्र मुख्य म्हणावयाचा.

उजवें अंग परावर्तक असल्यास हा खोलगट आरसा होतो. यावर शलाकारूपानें आलेले किरण मिळत्या शंकूच्या रूपानें परावृत्त होतात. ते म या ठिकाणीं मिळतात.

ग हा आरशाचा गर्भ, न हा नाभि म्हणजे वक्रतेचा मध्य, आणि ग न हा आरशाचा प्रमुख अक्ष होय.



आ. १२

प्रतिबिंबाचें स्थान कसें ठरवावें?

बिंबाच्या एका टिंबांतून निघून आरशावर जाणारे दोन किरण घ्यावे. त्यांचे परावर्तनमार्ग ठरवावे. ते जेथें एकमेकास काटतील तेथें प्रतिटिंब असतें. अनेक प्रतिटिंबें मिळून एक प्रतिबिंब होतें. घ्यावयाच्या दोन किरणांपैकीं एक किरण स्तंभिकेस धरून जाणाराच घेणें सोईकर असतें, कारण तो त्याच रेषेंत परतत असतो. सपाट आरशाच्या बाबतींत दुसरा किरण आणखी कोणताही चालेल. (आ० ४ पृ० ९ पहा) वाकदार आरशांत, तो अक्षास समान्तर घ्यावा, कारण तो नेमका मुख्य केंद्रांतून जाणारा असतो.

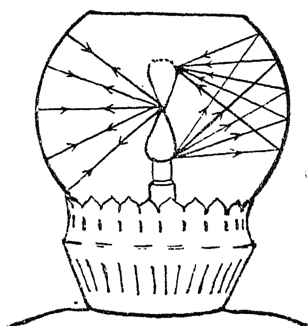
येथील कंसाचें डावें अंग परावर्तक असल्यास तो फुगट आरशाचा छेद होतो. अशा आरशापुढें दिव्याची ज्योत धरली म्हणजे तिचें छोटें प्रतिबिंब आरशामागें दिसून येतें तें येथें दाखविलें आहे. तें मुख्य केंद्रापेक्षां आरशाजवळ आहे.

कंसाचें उजवें अंग परावर्तक असल्यास तो खोलगट आरशाचा छेद होतो. अशा आरशाच्या मुख्य केंद्रापेक्षां त्याच्याजवळ बिंब असल्यास प्रतिबिंब आरशामागें बिंबापेक्षां अधिक अंतरावर दिसतें.

प्रकरण ४
खोलगट आरसे

खोलगट आरशासंबंधीं कांहीं विचार मागील प्रकरणांत केलाच आहे. आतां कांहीं निवडक उदाहरणें घेऊं या.

आपला छोटेखानी शेजदिवा जळत असतांना पाहिला तर त्याच्या ज्योतीवर आणखी एक ज्योत उपडी घातली आहे असें दिसतें. ही दुसरी ज्योत कशी निर्माण होते? या प्रश्नाचें उत्तर आतां सहज देतां येतें. चिमणी हा एक गोल परावर्तक असून ज्योतीचें टोंक त्याच्या बरोबर मध्यबिंदूंत असतें. तेथून निघालेल्या किरणांना आरशाच्या स्तंभिकाइतकीच फुलावट असते. आरशावर पोचल्यानंतर ही सर्व फुलावट नाहींशी होतेच, पण आणखी तितकीच मिलावट भरीला मिळते. (एकूण दुप्पट मिलावट मिळते.) अर्थात् ते जेथून निघतात तेथेंच परत येतात.


आ. १३

खोलगट आरशाच्या मुख्य केंद्रांतूनच नेमका किरणशंकू येत असेल तर काय होईल? या शंकूतील किरणांना आरशाच्या स्तंभिकांच्या दुप्पट फुलावट असते, म्हणून परावर्तनानंतर त्यांना फुलावट किंवा मिलावट कांहींच राहणार नाहीं. त्यांची केवळ शलाका बनेल, हें उघड आहे. विजेच्या दिव्यांपैकीं कांहीं दिवे असे असतात कीं त्यांचे तेवते तंतू केवळ लहानशा गुंडीसारखे बिंदुप्राय असतात. असा एकादा दिवा घेऊन त्यांचा तंतू बरोबर मुख्य केंद्रांत येईल अशा बेतानें तो ठेवावा, म्हणजे त्याजपासून आरशा-

वर जाऊन परतलेला प्रकाश आरशाच्या अक्षाला समान्तर अशा एका शलाकेंत भरला आहे असें आढळतें. शंकू पसरत जातो, पण शलाका पसरत नाहीं, म्हणून या आरशानें दूरवर चकचकीत कवडासा पाडतां येतो असें आढळतें.

आतां असें समजा कीं, आरशावर येणाऱ्या किरणशंकूला फुलावट आहे ती आरशाच्या स्तंभिकांच्या फुलावटीपेक्षां कमी आहे. म्हणजे किरणांचा उगम आरशाच्या वक्रतामध्यापेक्षां बराच दूर आहे. अशा प्रसंगीं आरशावर येऊन परतल्यानंतर ते मिळते होतील हें तर उघडच आहे, पण त्यांची मिलावट आरशाच्या स्तंभिकाच्या दुपटीपेक्षां कमी होईल. किरण जुळतील ते मुख्य केंद्र, व वक्रतामध्य(नाभि) यांच्या मध्यंतरीं जुळतील. हीच गोष्ट आपण आरंभींच खिडकीसमोर धरलेल्या चिमणीमध्यें पाहिली होती. खिडकीचें जें पालथें* साश्रय सत्य व छोटें प्रतिबिंब दिसलें तें यामुळेंच.

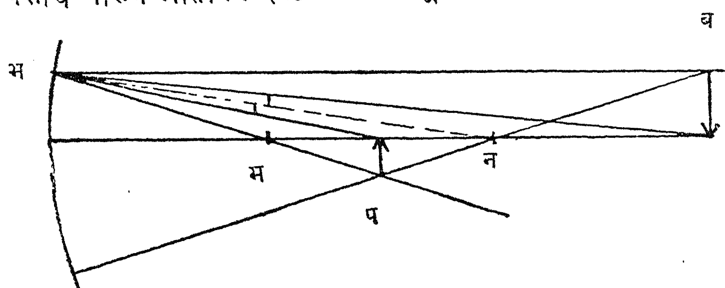
आरशाचा मुख्य केंद्र व वक्रतामध्य (नाभि) यांच्या मध्यंतरीं किरणशंकूचा उगम असेल तर काय होईल ? परावर्तनानें मिटता शंकु निर्माण होऊन नाभीच्या पलीकडे मिटेल हें उघडच आहे. हा केवळ गेल्या उदाहरणाचा व्यत्यास आहे. किरणाचा आयातीचा मार्ग आणि परावर्तनाचा मार्ग हे नेहमीं प्रतियोगी असतात. कारण दोनही मार्ग स्तंभिके भोंवतीं समात्रतेनें रचलेले असतात.

परावर्तनाच्या मार्गानें आयात झाली तर आयातीच्या मार्गानें परावर्तन घडतें. प्रतिबिंबाच्या जागीं बिंब आलें तर बिंबाच्या जागीं प्रतिबिंब येतें.

एका पांढऱ्या शुभ्र भिंतीसमोर खोलगट आरसा धरावा. त्याच्या वक्रतामध्यापासून भिंत कांहींशी दूर राहील अशा बेतानें अन्तर

* पालथें = विपर्यस्त; पर्यस्त; फिरवून टाकलेलें.

जमवून घ्यावें. मग प्रथमतः वक्रतामध्याजवळ ज्योत येईल अशा बेतानें मेणबत्ती धरावी, आणि क्रमाक्रमानें ती आरशाकडे सरकवावी; म्हणजे ती एका विशेष अन्तरावर असतांना, भिंतीवर मेणबत्तीचें पालथें प्रतिबिंब स्पष्टपणें आढळून येईल.



आ. १४

येथील कंस हा खोलगट आरशाचा छेद आहे. ब या बिंबाचें प्रतिबिंब प हें आहे.

ब पासून आरशाच्या प्रमुख अक्षास समांतर जाणारा ब भ हा किरण म या मुख्य केंद्रांतून परतला आहे. न या वक्रतामध्यांतून (नाभींतून) जाणारा किरण त्याच मार्गानें परत येत आहे. या दोहोंच्या काटावर प्रतिबिंब प उमटलें आहे.

न पासून पलीकडे बिंब असलें म्हणजे न पासून अलीकडे म पर्यंत प्रतिबिंब असतें.

सामान्य सूत्र

मूळ शंकूंची फुलावट, उणे स्तंभिकांच्या दुप्पट फुलावट = परिणामी फुलावट.

$$\frac{१}{\text{बिंबाचें अन्तर}} - \frac{२}{\text{नाभीचें अन्तर (अरा)}} = \frac{१}{\text{प्रतिबिंबाचें अन्तर}}$$

$$\frac{१}{ब\ अ} - \frac{२}{अर} = \frac{१}{प\ अ}$$

आरसा फुगट असल्यास डाव्या बाजूच्या पदांमध्यें + चिन्ह घालावें.

प्रतिबिंब आरशासमोर असलें म्हणजे तें साश्रय असतें पण असें होण्याला आगत किरण उलटून शंकु मिटता व्हावा लागतो. अशा प्रसंगीं प अ ऋण ठरतें. उदाहरणार्थ खोलगट आरशापासून बिंब $\frac{१}{२}$ चरणावर आणि प्रतिबिंब $\frac{३}{२}$ चरणावर आहे असें समजू या. (चरण = मीटर)

आतां आरशाची वक्रता ठरविणें असेल तर

$$२ - \frac{२}{अर} = -\frac{२}{३}$$

$$२\frac{२}{३} = \frac{२}{अर} \therefore \frac{अर}{२} = \frac{३}{८} \therefore अर = \frac{३}{४}\ चरण.$$

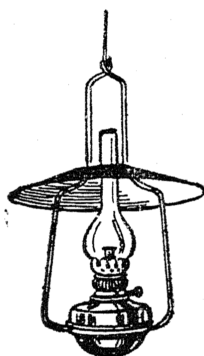
$\therefore$ आरशाची वक्रता $\frac{४}{३}$.

किरणशंकु मुख्य केंद्रापेक्षांही जवळून आरशावर आला तर परावर्तनानंतर त्याला काय आकृति मिळेल? या शंकूची मूळची फुलावट आरशाच्या स्तंभिकांच्या मिलावटीच्या दुप्पटीपेक्षांही मोठी, तेव्हां परावर्तनानंतर त्याची कांहीं फुलावट शिलक राहील हें उघड आहे. या फुलावटीमुळें तो आरशामागें परंतु मूळ उगमापेक्षां दुरून निघालेला दिसेल हेंही ओघानेंच ठरतें. अगदीं थोडकी खोलवटी असलेला आरसा आपण आपल्या तोंडाजवळ धरावा, म्हणजे आपला मुखवटा वाढवून मोठा केलेला दिसतो तो यामुळेंच. हें प्रतिबिंब अर्थातच अनाश्रय व असत्य असतें. (आ० १२ पृ० १९)

प्रकरण ५.

दिव्याचा परिवार.

स्वाभाविकपणें दिव्यांतून प्रकाशाचा फैलाव एक प्रकारानें होत असतो तर आपल्या कामासाठीं तो वेगळ्याच प्रकारचा असणें इष्ट असतें. उदाहरणार्थ साधा टांगता अरगिण दिवा मुख्यतः वातीशीं



आ. १५

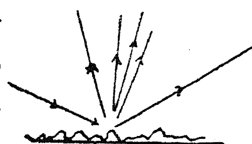
काटकोनांतल्या आडव्या पातळींत प्रकाश जितका देतो तितका तो खालवर देत नाहीं. त्यांतल्या त्यांत वरच्यापेक्षां खालीं तर फारच कमी देतो. दिवाणखान्यांत जेथें चहूं भिंतींवर चित्रें वगैरे दर्शनीय वस्तू ठेवलेल्या असतात तेथें ही उजेडाची पसरणूक ठीक आहे, परंतु सैंपाकघरांत ती अगदींच चुकीची ठरते. तेथें भुईवर उजेड विशेष पाहिजे आणि छतावर नसला तरी चालेल. अशा प्रसंगीं नुसता दिवा वापरण्याऐवजीं जर त्याला थोडासा परिवार दिला तर आपल्याला पाहिजे तशी पसरणी मिळवतां येते. दिव्याच्या चिमणीभोंवतीं जी ताटली बसवतात ती अशाकरतांच.

विकिरण

घरगुती व्यवहारामध्यें भिंती आणि छत यांस सफेती किंवा पांढरा रंग दिला असल्यास त्या योगानें प्रकाशाची पसरणी किती तरी सुधारते. भिंती व छत काळीं असलीं म्हणजे त्यावरून प्रकाश मुळींच पसरत नाहीं आणि अर्थातच उजेडाच्या पसरणुकींत कांहीं बदल होत नाहीं. या बाबतींत तीं असून नसून सारखींच होत. परंतु तीं शुभ्र असलीं म्हणजे फरक मोठाच पडतो. साधारणतः कोणत्याहीं ठिकाणीं जो प्रकाश मिळावयाचा त्यामध्यें छत

आणि भिंती यांजवरून परतून आलेला प्रकाशच पुष्कळ आणि थेट दिव्याकडून आलेला प्रकाश थोडा, अशी स्थिति असते.

सफेतीच्या थरांत बारीक बारीक दाणे असतात. त्याजवरून प्रकाशकिरण विखरून जातात. कारण सपाट पृष्ठावरच्या स्तंभिका समांतर असतात तशा या दाणेदार पृष्ठाच्या नसतात. पृष्ठाचा कल जागोजाग बदलल्यानें स्तंभिकांचा कलही बदलतो आणि अर्थात् जागोजागचे परावर्तन-मार्ग अस्ताव्यस्त होऊन जातात, कारण आगत-परागत मार्गांमधील

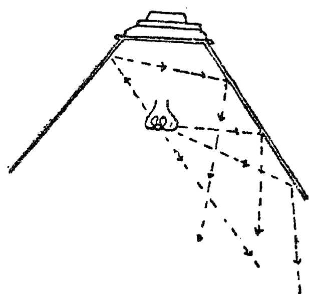


आ. १६

कोन स्तंभिकेनें बरोबर दुभंग व्हावयाचा हा नियम अबाधितच असतो. म्हणून अशा दाणेदार पृष्ठावर प्रतिबिंबें वगैरे दिसूं शकत नाहींत. मूळ किरणांचें एकमुखी परावर्तन होत नाहीं; शतमुखी होतें. अशा प्रकारें प्रकाशकिरण विखरून जाणें यास 'विकिरण' असें नांव आहे.

परावर्तक.

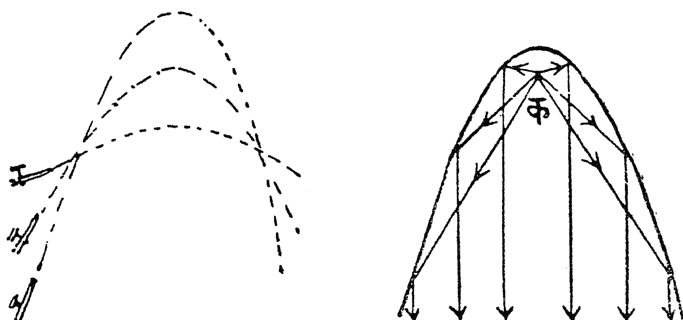
दिव्याभोंवतीं पुष्कळ प्रकारचे परावर्तक बसवतात. त्यापैकीं कांहीं पोकळ शंकूच्या आकृतीचे असतात. त्यांना शंकुपरावर्तक म्हणतात. त्यांच्या विशेष आकृतीमुळें त्यांच्या आंत बसविलेल्या दिव्याचा प्रकाश एका शंकूंत भरला जातो. या शंकूच्या उघड्या तोंडावाटे दिव्याची दीप्ति पुष्कळ वाढते आणि इतर दिशांस ती शून्यच होऊन



आ. १७

जाते. या उजेडाच्या शंकूमध्यें सुद्धां काठाकाठाला दीप्ति कमी, आणि मध्यभागीं पुष्कळ अशी वाटणी असते. दिवा स्वाभाविकपणें प्रकाशगोल उत्पन्न करतो, परंतु आपणांला गोलापेक्षां शंकूच पुष्कळ वेळां अधिक इष्ट असतो. आंगणांतल्या दिव्याचा प्रकाश वर आकाशांत जाऊन काय उपयोग? तेथें प्रकाश फक्त जमिनीकडेच यावयास पाहिजे.

कांहीं परावर्तक अन्वस्तीय आकृतीचे असतात. विजेच्या हातबत्त्या, मोटारगाड्यांचे डोळेवजा कंदील, पायगाडीवरचा विजेचा



आ. १८

कंदील, इत्यादिकांमध्यें अशा परावर्तकांचा उपयोग करतात. अन्वस्त आकृति समजावून घेण्यास एक सोपा उपाय आहे. थेट आडवी नाहीं थेट उभीही नाहीं, अशा अनेक मध्यम दिशांपैकीं कोणत्याही दिशेंत एका तोटीवाटें पाण्याची धार सोडावी, म्हणजे ही धार जी जी रेषा दाखवील ती ती अन्वस्तीय रेषाच होय. नमुन्यासाठीं येथें तीन रेषाच दाखविल्या आहेत. यांतली एक उथळ, एक खोल, तर एक मध्यम आहे. पण सर्वच अन्वस्त आहेत.

ज्या परावर्तकाच्या अक्षामधून काढलेला छेद अन्वस्त आकृतीचा असतो तो अन्वस्तीय परावर्तक होय.

अन्वस्त आकृतीच्या परावर्तकांत त्याच्या अक्षदिशेंत एकादी सूर्यकिरणांची शलाका सोडली, तर या शलाकेंतले सर्व किरण परावर्तक पृष्ठावरून परतल्यावर त्यांचा एक शंकू बनतो, आणि त्या शंकूचें टोक त्याच्या अक्षावरच वसलेलें असतें. या टोकांत सर्व किरण एकाग्र झालेले असतात म्हणून त्यास त्यांचा केंद्र म्हणतात. आतां असा विचार करावा कीं बाहेरून आंत किरणशलाका टाकण्याऐवजीं जर केंद्रांतच एकादा दिवा ठेवला तर काय होईल? दिव्यांतून परावर्तक—पृष्ठावर जाणारे सर्व किरण अक्षाला समांतर होऊन शलाकारूपानें बाहेर पडतील हें उघड आहे. फक्त थेट (परावर्तन न होतां) तोंडावाटें बाहेर पडणारे किरणच तेवढे शंकुरूपानें बाहेर पडतील. परावर्तक खोल असला म्हणजे हे दुसरे किरण थोडेच असतात. म्हणून त्यांची विशेष गणना न केली तरी चालेल.

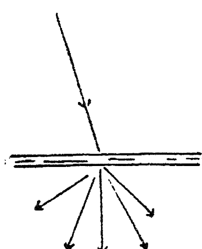
दिव्यांतून उजेड एरवीं पडतो तसा गोलरूपानें किंवा शंकुरूपानें बाहेर पडला म्हणजे, तो जसजसा दूर जातो तसतसा त्याचा अवच्छेद * विस्तारानें वाढत जातो, आणि अर्थात् दाटपणा कमी होत जातो. असें शलाकरूपांत घडत नाहीं. शलाकेचा अवच्छेद विस्तारत नाहीं. सर्व अंतरावर त्याचें मान सारखेंच राहते. म्हणून प्रकाश पसरल्यानें विरळ होण्याचा संभव एरवीं असतो, तो तेथें नाहींसा होतो. किती का अंतरावर जानात, जोंवर अक्षाच्या काटकोनांत कवडासा घ्याल तोंवर त्याचा दाटपणा कमी होणार नाहीं. धूर, धुराळा आणि धुकें, या हवेंतल्या तीन धुकारांनीं मात्र तो जो काय कमी व्हावयाचा तो होईल. एक लहानसाच कवडसा, पण दूरच दूर

* अवच्छेद = Cross-section. अक्षाच्या काटकोनांत छेद.

दाटपणा कायम राहून पोंचावा अशी इच्छा असेल तर तेथें अशा परावर्तकांचा उपयोग करतात. अशा परावर्तकामुळें हजार बत्त्यांच्या दिव्याला एका दिशेमध्यें लाख बत्त्यांएवढी दीप्ति प्राप्त होते; उदाहरणार्थ दीपगृहामध्यें.

प्रकिरण

थेट डोळ्यांत दिव्याचे किरण जाणें बरें नव्हे. त्यानें डोळे दिपतात. दिव्याचा उजेड खरोखरी दर्शनीय पदार्थावर पडला पाहिजे. म्हणून ते उंच जागीं टांगणें आणि त्यांचा सर्व उजेड वरून खालीं येईल असें करणें हेंच चांगलें. दिवा दृष्टिरेषेच्या वर नेतां येत नसेल तर त्याला एक दुधट किंवा खरचट काचेचें कोंडाळें घालावें. तें घातलें म्हणजे कोंडाळ्याच्या प्रत्येक बिंदूपासून प्रकाश निघून दाही दिशास पसरतो. आणि पाहणाऱ्याच्या डोळ्यास तितका खुपत नाहीं. अशा प्रकाशास प्रकीर्ण प्रकाश म्हणावें.



आ. १९

प्रश्नावलि

१ अनाश्रय प्रतिबिंबाचें ठिकाण ठरवण्याची रीत कोणती ?

२ दोन सपाट आरसे ६०° कोन करून एकमेकास ठेपून ठेवले आणि मध्यंतरीं एकादा दिवा ठेवला, तर त्याचीं किती प्रतिबिंबें दिसूं शकतील ?

३ एकादें प्रतिबिंब साश्रय आहे असें केव्हां म्हणतात ? अनाश्रय आहे असें केव्हां म्हणतात ?

४ सपाट आरशानें मिळणारें प्रतिबिंब यापैकीं कोणत्या प्रकारचें असतें ? फुगट आरशानें मिळणारें कोणत्या प्रकारचें असतें ?

५ मुख्य केंद्र म्हणजे काय? खोलगट आरशाचा मुख्य केंद्र कसा ठरवावा? फुगट आरशाचा कसा ठरवावा?

६ एकेक किरणशंकु, १ चरण (मीटर) अन्तरावरून सपाट, खोलगट, व फुगट आरशावर पडत आहे. आरशावरून परतल्यानंतर त्याच्या फुलावटींत काय फरक पडतील? खोलगट व फुगट आरसे हे १ चरण व्यासाच्या फुग्याचे तुकडे आहेत.

७ खोलगट आरशानें अनाश्रय प्रतिबिंब पाहिजे असल्यास बिंब त्यापासून अधिकांत अधिक किती अंतरावर असलें तरी चालेल?

८ खोलगट आरशानें साश्रय प्रतिबिंब मिळवावयास कमीत-कमी किती अन्तरावर बिंब असावयास पाहिजे?

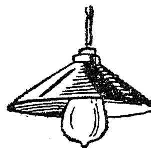
९ दिव्यापासून निघणाऱ्या किरणांची शलाका करावयाची असल्यास आरसा कोणत्या आकृतीचा वापरावा? तो कोठें ठेवावा?

१० एका खोलगट आरशापासून ½ चरण (मीटर) अंतरावर एक ज्योत आहे तिचें साश्रय प्रतिबिंब आरशापासून २ चरण अंतरावर पडत आहे? या आरशाचा मुख्य केंद्र त्यापासून किती अंतरावर आहे? उत्तर ०.४ चरण.

(येथें परावृत्त शंकु मिळता आहे, म्हणून त्याची फुलावट ऋण चिन्हानें दर्शवावी; म्हणजे ती मिलावट म्हटल्यासारखेंच होईल.)

११ विकिरण म्हणजे काय? त्यांचें एकादें घरगुती उदाहरण द्या.

१२ कांहीं दिव्यांना दुधट काचा असतात. त्या कशासाठीं?



प्रकरण ६.

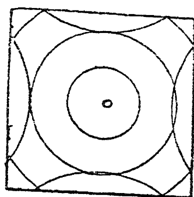
तरंग-दृष्टान्त.

एकाद्या जलाशयांत पाणी संथ असतांना मध्यभागीं एक पाण्याचा थेंब सोडावा म्हणजे दिसून येतें कीं, या क्षोभानें जलतरंग उसळतात आणि क्षोभाच्या जागेपासून सभोंवार पसरतात. किंचित् वेळानें दूरवरचें पाणी देखील हालूं लागतें. परंतु क्षोभस्थानापासून जों जों दूरवर पाहावें तों तों ही चळवळ अधिकाधिक क्षीण होत जाते. ती अमुक एका जागीं थांबली असें समजत नाहीं; कारण हा क्षीणपणा तिला क्रमशः आलेला असतो. दिव्याच्या सभोंवार प्रकाश पसरतां पसरतां तो अंधुक होत जातो, आणि अमुक ठिकाणीं तो संपला असें सांगतां येत नाहीं, तशासारखाच हा प्रकार होय.

प्रकाश अतिशय चपल आहे. प्रकाश एका ठिकाणाहून निघाला आणि दुसऱ्या ठिकाणीं पोचला, दिवा लावला आणि त्याचा उजेड सभोंवताल्या एकाद्या ठिकाणीं पडला, या दोन क्रियांत कालाचें अंतर पडलें असें सहसा कळून येत नाहीं. परंतु जल-तरंगाच्या बाबतींत मात्र तरंग निघाले आणि पसरत पसरत भांड्याच्या किंवा जलाशयाच्या काठावर पोचले असें स्पष्ट दिसतें. प्रकाशाचा एकेक तरंग व्यक्तिशः आपल्याला दिसत नाहीं, परंतु तरंगांची रांगच्या रांग कोणत्या मार्गानें चालत गेली तो मार्ग दिसतो. हा मार्ग म्हणजेच किरण होय. तरंगांतील लाटांचें चित्र काढण्याऐवजीं या लाटांचीं अनन्त मुखें ज्या मार्गानें सरकत जातात त्या मार्गाचें चित्र काढलें असतां तें बरोबर किरणांच्या चित्रासारखें निघतें. चाकाचा आरा आणि पुठ्ठा यांचा जो संबंध तोच किरण आणि तरंगमुख यांचा संबंध होय. तरंगमुख किरणाच्या काटकोनांत असतें.

परावर्तन.

आतां एक मिनावाची चौकोनी पांढरी शुभ्र थाळी घ्या, चांगल्या उजेडांत ठेवा, तिच्यांत पाणी ओता, तें संथ होऊं द्या, आणि मग त्यांत मधोमध चार पाण्याचे थेंब सोडा, म्हणजे दिसून येईल कीं, या क्षोभामुळें जे तरंग उसळतात ते चारी तटांवरून पुनः मध्याकडे उलटून येतात. या उलटलेल्या तरंगाकडे पाहिल्याबरोबर, ते जणूं काय तटाबाहेरून क्षोभस्थानाच्या प्रतिबिंबांतून निघाले आहेत असें दिसतें.


आ. २०

आतां एक विस्तृत वाटोळी थाळी पाण्यानें भरून घ्या, आणि तिच्या बरोबर मध्यांत पाण्याचे थेंब सोडा, म्हणजे एक सुंदर देखावा दिसून येईल. वाटोळे वाटोळे बहिर्मुख तरंग उसळतील आणि कांठाला लागून आल्या पावलींच परत फिरतील. हे तरंग आतां अंतर्मुख होऊन मध्याबिंदूंत मिटून जातील आणि पुनः पहिल्यासारखे बहिर्मुख होतील. कळी उमटावी आणि मिटावी, पुनः उमलावी, तशी मौज दिसेल. चहाच्या पेल्यांत मधोमध फुंकर मारला असतां अशा मौजा वारंवार दिसतात.

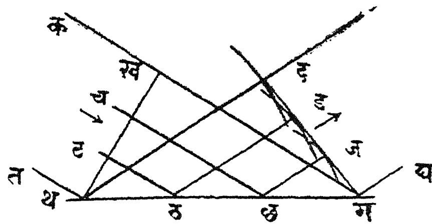
मीमांसा

आतां या तरंगपरावर्तनाची कांहीं मीमांसा करतां येते का पाहूं या. समजा, परावर्तक पृष्ठ सपाट आहे आणि त्यासमोर एका बिंदूंत क्षोभ उत्पन्न झाला आहे. अशा प्रसंगीं अनेक तरंगमुखें त्या बिंदूंतून निघतात आणि एकेका दिशेंत एकेक अशीं सर्व मुखें एकाच वेगानें चालूं लागतात. यापैकीं कांहीं परावर्तकावर पोंचतात, कांहीं पोंचत नाहींत. जीं पोंचतात त्यांपैकीं आरशाच्या

काटकोनांत चालणारें एक असतें आणि बाकीचीं उत्तरोत्तर कमी कमी कोन करून चालणारीं असतात. हीं सर्व मुखें काटकोनांत जाणाऱ्या मुखाच्या दोन्ही अंगांस समात्रतेनें रचलेलीं असतात. आतां काठावर काटकोनांत जाणारें मुख जेव्हां तेथें पोंचतें तेव्हां त्यांचीं दोनही टोकें एकदमच परतवलीं जातात—किंवा त्याचे दोनही लगाम एकदमच खेंचले जातात असेंच म्हणानात—अर्थात् तें आल्या पावलीं मागें चालूं लागतें.

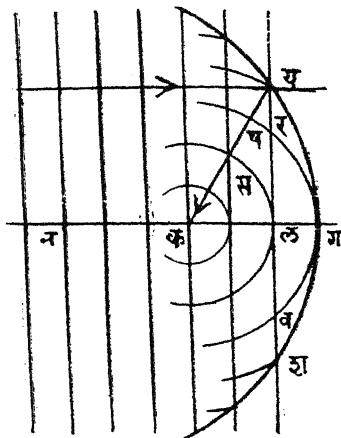
जें मुख कांठाशीं लघुकोन करून जातें त्याचें मात्र एक टोंक हाटकून कांठावर अगोदर हापटतें आणि दुसरें मागून हापटतें, किंवा एक लगाम अगोदर खेंचला जातो आणि दुसरा नंतर खेचला जातो. आतां एक टोंक परतवलें गेल्यापासून दुसरें परतवलें जाईपर्यंत काय होतें पहा. डावा घोडा पुढें चालाला आहे, उजवा मागें चालला आहे किंवा डावें चाक पुढें चाललें आहे आणि उजवें मागें आहे अशांतलीच अवस्था. परिणामीं चाकाचा रोख वळवला जातो.

उदाहरणार्थ क ख हा किरण घ्या. ख च हे तरंग-मुख क ख मार्गानें जाणारें आहे. आतां ख हें टोंक परावर्तक पृष्ठाशीं लागण्या-पूर्वींच च हें टोंक त्यावर थडकून परत माघारी चालू लागतें. च परावर्तक पृष्ठाशीं पोचल्यापासून क पृष्ठाशीं पोचेपर्यंत जितका मार्ग ख क ख दिशेंत चालून जातें तितकाच मार्ग च माघारी चालून जातें. ग ज हें नवें तरंगमुख निर्माण होतें आणि ग घ या मार्गानें चालू लागतें, ख च, च ट, ट थ अशीं तरंगमुखें एकाच रेषेंत चालून आलीं तर तीं परत ग ज, ज ड, ड द, अशीं होऊन परत जातात. म्हणजेच क ग, च छ, ट ठ, त थ असे समान्तर किरण आले तर ते परत जातांना समान्तरच राहतात. अर्थातच



आ. २१

त्यांच्यामध्यें जर अगोदर आयातीच्या समयाला कांहीं कोन असला तर तो परतीच्या समयालाहीं कायम राहतो.



आ. २२

शेजारच्या आकृतीकडे पाहिलें असतां खोलगट परावर्तकानें तरंगाला परावर्तकाच्या दुप्पट खोलवटी कशी मिळते तें स्पष्ट दिसून येतें. अक्षाला धरून जाणारें तरंगमुख परावर्तकाशीं पोचण्यापूर्वींच त्याच्या भोंवतालचीं तरंगमुखें परत फिरतात आणि चालू लागतात. उदाहरणार्थ य र ल व श ही सरळ तरंगरेषा घ्या. ल येथील तरंगमुख ग पाशी जाऊन परत ल येथें येईपर्यंत य येथील मुख स पर्यंत परत येतें. स ल हा कंस य ग च्या दुप्पट वक्र आहे. एकूण असें दिसून येतें कीं

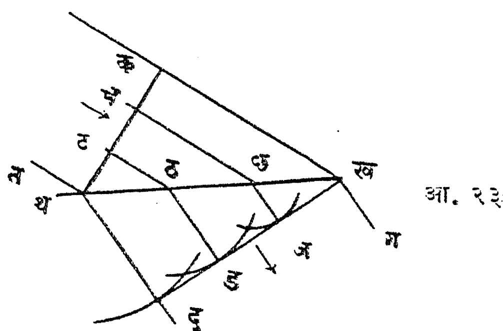
नवी तरंगरेषा परावर्तकाच्या दुप्पट वक्र होते.

परावर्तक फुगट असला तरीही तरंगरेषेला अशीच दुप्पट वक्रता मिळते परंतु ती बहिर्मुख असते, अंतर्मुख नसते.

परिवर्तन

एका मोठ्या स्वच्छ बिनरंगी काचेच्या बाटलींत किंचित् मळकट पाणी भरावें. सूर्यकिरणांची एक शलाका, त्याच्या पृष्ठाशीं थोडा कल ठेवून, त्याजवर सोडावी, म्हणजे ती कांहींशी वाकून आंत गेल्याचें दृष्टीस पडतें. सूर्यकिरणांना असें हें भेदक पृष्ठीशीं वळण कां मिळावें ? हवेंत किरण सरळ आहे, पाण्यांतही सरळ आहे पण दोहींच्या सीमेवर वाकला आहे तो कां ? प्रकाशकिरण हे प्रकाश-तरंगांचे मार्ग आहेत असें माना, म्हणजे या प्रश्नाचा उलगडा सहजच होतो, पाहा.

क ख, च छ, ट ठ इत्यादि किरणांच्या काटकोनांत तरंग-मुखांच्या रेषा आहेत. प्रत्येक किरण पाण्याच्या पृष्ठाशीं



आ. २३

कलता आहे. तेव्हां तरंगमुख सुद्धा कलतेंच आहे. अर्थात् पाण्याच्या पृष्ठाशीं टेकतांना त्याचें एक टोक दुसऱ्या टोकाच्या अगोदर पाण्यावर टेकतें. सीमा ओलांडतांना सर्व मुख एकदम पाण्यांत शिरत नाहीं. एक टोक अगोदर शिरतें दुसरें मागून शिरतें. आतां असें पाहा कीं, पाणी हवेपेक्षां कितीतरी दाट आहे ! तरंग ज्या

वेगानें हवेंत चाल करतो त्या वेगानें त्याला पाण्यांत चाल करणें कसें संभवेल ? पाण्यांतली चाल मंदच होणार. असें असल्यामुळें तरंगमुख पाण्यांत शिरतांना त्याचें एक टोक मंद आणि दुसरें शीघ्र चालणार, म्हणजे तें साहजीकच मंद चालणाऱ्या टोकाकडे वळणार असें ओघानेंच ठरतें. गाडीचें उजवें चाक मंद आणि डावें शीघ्र चालू झालें तर गाडी उजवीकडे वळते तसेंच हेंही. क ख, च छ, ट ठ, त थ या मार्गांनीं चालणारीं तरंगमुखें पाण्यांत शिरल्यावर ख ग, छ ज, ठ ड, थ द, अशा मार्गांनीं चालू लागतात, असा प्रत्यक्ष अनुभव येतो. प्रकाशतरंग किंवा किरण एका आवारांतून दुसऱ्या आवारांत शिरतांना, त्याला जें वळण मिळतें त्यास ‘ परिवर्तन ’ असें नांव दिलें आहे.

प्रकाशवेग

शेजारच्या आकृतीवरून हें उघड होतें कीं, क च ट थ ही तरंग–रेषा पाण्यांत प्रवेश केल्यावर ख छ ट द या रेषेंत वळते. याचाच अर्थ असा कीं तरंगाचें क टोंक ख पर्यंत प्रवास करण्यास जितका वेळ लागतो, तितक्या वेळांत थ टोंक द पर्यंत जातें. क ख ही रेषा थ द या रेषेच्या $\frac{४}{३}$ पट असल्याचें आढळून येतें. म्हणून प्रकाशतरंगांचा हवेंतला वेग पाण्यांतल्या वेगाच्या $\frac{४}{३}$ पट आहे असें अनुमान निघतें.

प्रकाश हा तरंगरूप असावा ही कल्पना फार जुनी आहे. तथापि स्वाभाविक आविष्कारांचें विवरण करण्यास किंवा नवीन अनुमानानें करण्यास कल्पनेचें साहाय्य होण्याजोगें असेल तरच तिला शास्त्रामध्यें स्थान मिळतें, एरवी मिळत नाहीं. प्रकाशतरंगांची कल्पना या दोनही दृष्टीनीं स्वीकारण्यासारखी आहे, असें प्रथमतः डॅनिश विज्ञानी हायगेंझ यानें दाखवून दिलें. किरणपरावर्तन व परि-

वर्तन या दोनही गोष्टींचें यथातथ्य विवरण करण्यास तरंगकल्पना उपयोगी पडते; इतकेंच नव्हे तर हवा, पाणी, काच, इत्यादिकांत प्रकाशाचा वेग किती असावा याविषयीं योग्य अनुमानें काढण्यास तिचा उपयोग होतो, असें त्यानें दाखवून दिलें. हायगेंझच्या* वेळीं सतराव्या शतकामध्यें, या अनुमानांचा ताळा पाहण्यास साधनें नव्हतीं. तीं एकोणिसाव्या शतकांत उपलब्ध झालीं. तेव्हां फिझू व फूको या दोघां प्रयोगकुशल फ्रेंच विज्ञात्यांनीं हा ताळा पाहिला आणि तो बरोबर जमलाही. त्यांना आढळून आलें कीं,

प्रकाशवेग रिक्तांत (पोकळींत) विपळास (सेकंदास) १८६,००० मैल असतो. तो हवेंत किंचित मंद होतो आणि पाण्यांत तर हवेंतल्या वेगाच्या ¾ होतो.

(पडत्या फळाचा संदेश पृ० ७६, व रंग आणि तरंग पुरवणी पाहां)

प्रश्नावलि

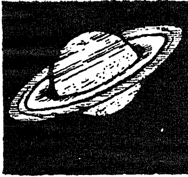
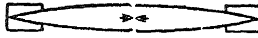
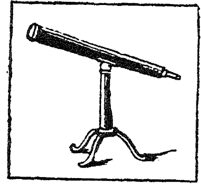
१ किरण आणि तरंगरेषा यांचा काय संबंध असतो ?

२ तरंग-परवर्तनाची उपपत्ति कशी लावतात ?

३ किरण-परिवर्तन म्हणजे काय? पाण्यांत शिरतांना प्रकाश-किरणांचें जें परिवर्तन घडतें त्यावरून प्रकाशाच्या वेगासंबंधीं कोणतें अनुमान निघतें ?

---

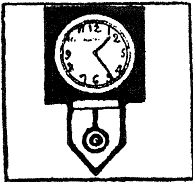
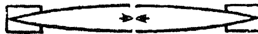
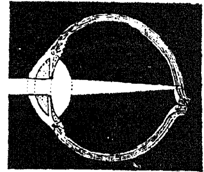
* हायगेंझ हा मोठा ज्योतिर्विद व गणिती वास्तवज्ञ होता. उत्तम प्रकारें काल दर्शविणारें पहिलें घड्याळ त्यानें केलें. दुर्बिणीच्या रचनेंत त्यानें पुष्कळ सुधारणा केली. शनीच्या वलयाचा शोध त्यानेंच लावला. डोळ्यांच्या रचने-विषयीं त्याचे विचार मननीय आहेत.

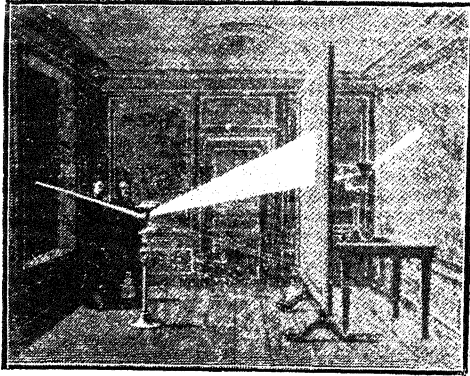






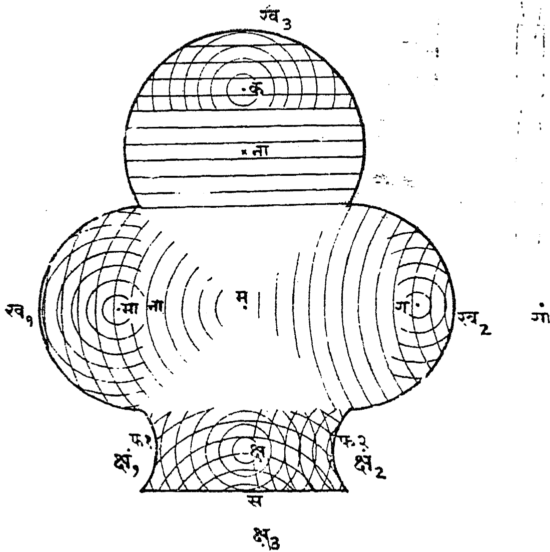

हायगेन्झ

१६२९ ते १६९५



न्यूटन-कृत सूर्यप्रकाशाचा वर्णभंग. (पृ. ४६)

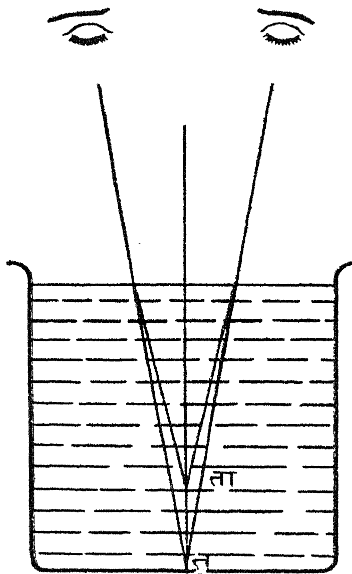


तरंगपरावर्तन

प्रकरण ६.

सीमोल्लंघन.

प्रकाशकिरण हवापाणी यांच्या सीमेवर कांहीं कलानें आला असतांना सीमा ओलांडतो, पण तसें करतांना तो वळण घेतो हें आपण पाहिलें आहे. प्रकाशतरंगांचा पाण्यांतील वेग हवेंतल्या वेगाच्या $\frac{3}{4}$ घट असतो हें या वळण्याचें कारण आहे हेंही आपणांस कळून आलें आहे. ही लहानशी गोष्ट ध्यानांत ठेवली असतां अनेक प्रकाश–चमत्कारांचा उलगडा होतो. उदाहरणार्थ हीच गोष्ट घ्या ना, कीं पाण्यानें भरलेल्या भांड्यांत वरून खालीं पाहिलें असतां भांड्याचा तळ उचलल्यासारखा दिसतो. स्थूलमानानें ही उचल किती असते तें देखील सांगतां येतें. भांड्यांत पाहात असतांना जो तळ दिसतो त्यासरशीं बाहेरच्या अंगास एक खूण करून घ्यावी म्हणजे झालें. चार भाग खोल असलेलें पाणी तीन भागच खोल आहे असें दिसतें. त येथून निघालेले किरण ता येथून निघाल्यासारखे दिसतात.



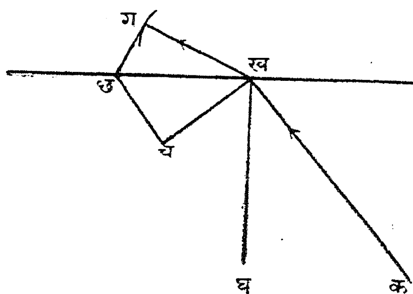
आ. २४

प्रस्तुत प्रसंगीं डाव्या डोळ्यांत शिरणारे किरण डावीकडे वाकले आहेत, उजव्या डोळ्यांत जाणारे किरण उजवीकडे वाकले

आहेत, समोर नाकाकडे येणारें किरण मुळींच वाकले नाहींत. परंतु या दोन मर्यादेमधले किरण क्रमशः कमी कमी वाकत आले आहेत एवढें यावरून उघड आहे. तरंगाच्या वेगासंबंधीं आपली उपपत्ति येथें पूर्णपणें लागू पडते. सीमेशीं काटकोनांत येणारें तरंगमुख सीमा ओलंडतांना वळण्याचें खरोखरीच कांहीं कारण नाहीं. त्याचीं उजवीं डावीं दोनहीं टोकें एकदमच सीमेवर टेकणार आणि एकदमच सीमा ओलांडणार. जीं तरंगमुखें अशीं काटकोनांत येत नाहींत तीं मात्र आपल्या कलानुसार वळल्याखेरीज बाहेर पार पडावयाचीं नाहींत हें निश्चित होय.

पाण्यांतून हवेंत

समजा पाण्याखालीं क येथें किरण निघून ख येथें पृष्ठाशीं भिडत आहे, आणि तो आतां कोणत्या मार्गानें बाहेर पडेल तें



आ. २५

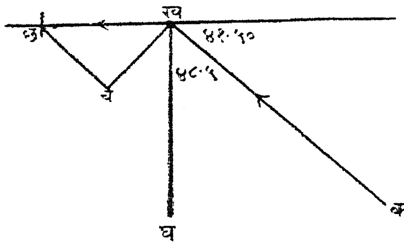
काढणें आहे. आतां ख येथें तरंगमुख पोचतांना तें ख च या रेषेंत असणार आणि पुढें सरकतांना त्याचें ख टोंक ४ वेगानें तर च टोंक ३ वेगानें चालणार आहे. म्हणून च हें टोंक सरळ छ स भिडेपर्यंत ख टोंक ख पासून ४/३ च छ अरा घेऊन काढलेल्या कंसावर असणार असें ठरतें. आतां या कंसाला छ पासून जर एक स्पर्शिका काढली तर ती नवीन तरंग-मुखाची रेखा होणार असें ठरतें. कारण

ही रेखा किरणाला काटकोनांत असली पाहिजे. यावरून ख ग हा नवा किरणमार्ग ठरतो.

आगत किरणाचा कल स्तंभिकेस अनुलक्षून सांगण्याची रीत आहे म्हणून आकृतींत स्तंभिका दाखविली आहे. क ख घ हा आगत कोन आहे. तो च ख छ बरोबर आहे असें दिसून येईल.

व्यावर्तन

आतां क ख हा किरण इतका कलता घ्यावा कीं, त्याचा पाण्याच्या पृष्ठाशीं पोचतांना आगतकोन ४८.५° व्हावा. असें केलें असतां आढळून येईल कीं, ख छ ही रेषा च छ च्या ३/४ होते आणि म्हणून ग हा बिंदु छ वरतीच येऊन भिडतो. अर्थात् ख छ ही किरण बाहेर पडण्याची रेषा ठरते. आगत कोन याहीपेक्षां मोठा केला तर ख छ रेषा ३/४ च छ पेक्षां मोठी होते, आणि ग हें स्थान नाहींसें होतें. अर्थात् किरण पाण्याबाहेर पडूंच शकत नाहीं, असा याचा अर्थ होतो.



आ. २६

आगत कोन ४८.५ पेक्षां मोठा असला म्हणजे, तरंगमुखाचें अगोदर सीमेवर पोचलेलें टोक इतकें आगस असतें कीं, दुसरें टोक सीमेवर पोचेपर्यंत तें हवेकडे पाठ फिरवून पुनः पाण्याच्या बाजूलाच वळतें. किरण परावर्तन पावतो, परिवर्तन पावत नाहीं. आगत किरणाचा कल कांहींही असला तरी, त्यांतील कांहीं अंश नेहमींच परावृत्त होत असतो; परंतु कल येथें दाखविला याहून अधिक झाला

म्हणजे तो पूर्णपणें परावर्तन पावतो. म्हणून ४८.५° हा पाण्याचा पूर्ण परावर्तनाचा कोन (व्यावर्तन-कोन) आहे असें म्हणतात.

काचेंतून पार

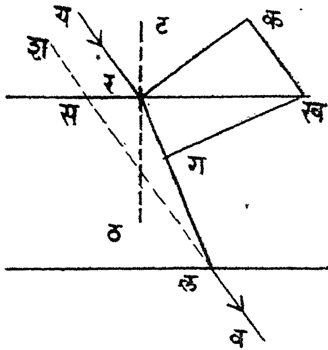
हल्लीं कागदावर दडपण ठेवण्याकरतां म्हणून काचेच्या चिपा पुष्कळ वापरण्यांत आहेत. त्यांतल्या कांहीं चिपा विटेवजा असतात. त्यांना सहाच चौरस पाठी असतात. अशी एकादी चीप या मजकुरावर ठेवून वरून पाहिलें असतां मजकूर उचलल्यासारखा दिसतो. अशी चीप कागदावर ठेवावी, पलीकडे दोन टाचण्या उभ्या कराव्या, आणि अलीकडे आरपार येणाऱ्या प्रकाशांत त्या पाहाव्या. म्हणजे य र या रेषेंत असलेल्या टाचण्या ल व या रेषेंत असल्यासारख्या दिसतात. ल व रेषा पक्की करण्याकरतां अलीकडे त्या रेषेंत दोन टाचण्या रोवाव्या. चारी टाचण्या एका ओळींत दिसल्या म्हणजे झालें. या प्रयोगावरून असें ठरतें कीं य र मार्गानें येणारें तरंगमुख काचेंतून पार पडतांना ल व या मार्गानें येतें.

आतां र येथें य र शीं काटकोन करून र क ही रेषा काढावी म्हणजे र येथें आल्यावर तरंगमुख र क या रेषेंत आहे असें ठरतें. आतां क येथें य र शीं समान्तर क ख रेषा काढावी म्हणजे तरंगमुखाचें क टोक क ख मार्गानें जाणारें आहे असें ठरतें. मग ख पासून ख ग हा, र ल वर लंब काढावा; म्हणजे ख ग ही नवी तरंगरेषा ठरते. येथें क ख ही रेषा र ग च्या $\frac{3}{2}$ पट असल्याचें आढळतें. यावरून असें ठरतें कीं,

प्रकाशाचा हवेंतील वेग काचेंतील वेगाच्या $\frac{3}{2}$ पट आहे

हीच गोष्ट काचेचा परिवर्तनगुणक $\frac{3}{2}$ आहे, अशा शब्दांत सांगण्याचा प्रघात आहे.

परिवर्तन नियम



आ. २७

[ट ठ ही स्तंभिका आहे. आतां, य र ट हा आगतकोन आणि ग र ठ हा परिवर्तन कोन म्हणावयाचा.

∠ य र ट = क र ख,
∠ ग र ठ = र ख ग.

क ख ÷ र ख, ही ∠ क र ख ची ज्या (साईन) आहे. र ग ÷ र ख, ही ∠ र ख ग ची ज्या (साईन) आहे.

$$\frac{\text{क ख}}{\text{र ख}} \div \frac{\text{र ग}}{\text{र ख}} = \frac{\text{क ख}}{\text{र ग}} = \frac{3}{2}$$

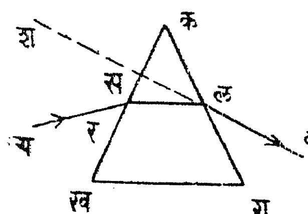
$$\therefore \frac{\text{आगम कोनाची ज्या}}{\text{परिवर्तन कोनाची ज्या}} = \frac{3}{2}$$ या स्वरूपांत

काच-पाणी यांच्या संबंधांचा परिवर्तन – नियम सांगावयाचा अशी रूढी आहे.]

चिपेच्या समोरासमोरच्या बाजू समान्तर असतात. म्हणून चिपेंत शिरतांना किरणाला जें वळण मिळतें त्याच्या विरुद्ध व तितकेंच वळण त्याला चिपेंतून बाहेर पडतांना मिळतें. म्हणून त्याचा प्रवेशमार्ग आणि निर्गममार्ग एकमेकांना समान्तर राहतात. या दोन मार्गांमधील (काटकोनी) अंतर हें, मूळ किरणाचा सीमेशीं असलेला कल आणि चिपेच्या प्रवेशनिर्गम पृष्ठांमधील अंतर, ह्यांवर अवलंबून आहे.

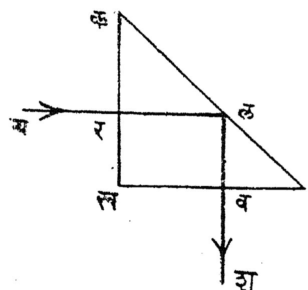
त्रिधारी काचखड्यांतून

चिपेच्या ऐवजीं जर त्रिधार घेतली तर तिच्या आंत प्रकाश शिरण्याची आणि आतून बाहेर पडण्याची सीमा, या एकमेकींशीं कलत्या असतात. म्हणून किरण बाहेर पडतांना या सीमांमधील कोनेच्या विरुद्ध अंगाला वळण घेतो. त्रिधारेंमधून पाहिलेलें दृश्य त्याच्या कोनेकडे चळलेलें दिसतें त्याचें कारण हेंच होय. उदाहरणार्थ आ. २८ मधील य र रेषेंतील टाचण्या श स या रेषेंत दिसूं लागतात.

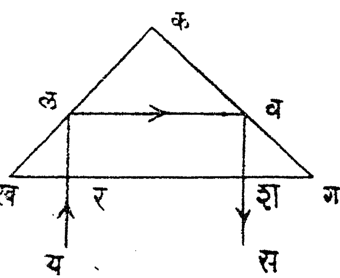


आ. २८

प्रकाशाचा हवेंतला वेग काचेंतल्या वेगाच्या $\frac{3}{2}$ पट असल्यमुळें, काचेंतून हवेंत बाहेर पडणाऱ्या किरणांनीं सीमेवर किती कोन करावा, याला एक मर्यादा उत्पन्न होते. या किरणाचा स्तंभिकेशीं कल ४२.५° पेक्षां कमीच असला पाहिजे; नाहीं तर त्या किरणाला एवढें मोठें वळण मिळतें कीं, त्याचें मुख पुनः माघारें काचेंतच वळतें. याचाच अर्थ असा कीं, तो किरण काचेंतून हवेंत



आ. २९



आ. ३०

बाहेर पडूं शकत नाहीं, काचेंतल्या काचेंत परावृत्त होतो. ही गोष्ट आ. २९ मध्यें दाखविली आहे.

क ख ग हा एक समभुज काटकोन त्रिकोण असून तो एका काचखड्याचा अवच्छेद आहे. याच्या एका बाजूवर स्तंभिका–रेषेंतच य र हा एक प्रकाशकिरण येत आहे. अर्थात् तो त्याच रेषेंत प्रविष्ट होत आहे. नंतर तो समोरच्या सीमेवर ४५° कल ठेवून पोंचत आहे आणि म्हणून तितकाच कल ठेवून दुसऱ्या अंगानें परावृत्त होत आहे. आतां तो काटकोनाच्या तिसऱ्या सीमेवर पुनः स्तंभिका-दिशेंतच येत आहे, आणि म्हणूनच तसाच्या तसाच बाहेर निसटत आहे. येथें काचेच्या खड्याचा उपयोग एखाद्या आरशाप्रमाणें झालेला आहे. प्रस्तुत प्रसंगीं खड्यानें किरणाला ९०° चें वळण दिलें आहे. अशाच खड्याच्या योगानें १८०° चेंही वळण देतां येतें. कसें तें आ. ३० मध्यें दाखविलें आहे. अशा प्रकारें काच-खड्यांचा उपयोग कांहीं दुर्बिणीमध्यें केलेला असतो. साध्या आरशाचा रुपेरा बिघडण्याचा संभव असतो; परंतु या कांचखड्यांमध्यें बिघडण्याजोगें कांहीं नसतें, हा त्यांचा मोठा गुण आहे.

प्रश्नावलि

१ पाण्यांत कलता हात धरला असतां, तो मोडल्या सारखा दिसतो. असें कां व्हावें ?

२ सूर्याचीं पावलें मध्यान्हीपेक्षां संधिसमयाला झपाझप पडतात असें दिसतें, तें कां ?

३ काचेच्या खड्यावर आलेला किरण केव्हां पार पलीकडे जाऊं शकेल ? व केव्हां जाऊं शकणार नाहीं ?

प्रकरण ७ वें.

हिरे आणि लोलक

डोळ्याला आल्हाद देणाऱ्या ज्या अनेक वस्तू आहेत त्यांत हिरे, माणकें इ० रत्नांना अग्रस्थान दिलें पाहिजे. हिऱ्याच्या अंगीं जी चमक असते, किंवा पैलू पाडल्यानें येते, ती तीन कारणांनीं आल्हाददायक ठरते. (१) त्यावर पडून परतणारा प्रकाश इतर वस्तूवरून परतणाऱ्या प्रकाशापेक्षां पुष्कळ दाट असतो. (२) मूळचा प्रकाश शुभ्र असतांना त्यावरून मिळणारा प्रकाश रंगारंगाचा असतो. (३) त्याजकडे पाहतांना आपली दृष्टिरेषा किंचित् बदलली कीं रंग व प्रकाशाची तीव्रता यांत पुष्कळ बदल पडतो.

लोलक, दोलक, किंवा डूल हा स्वभावतः लोंबणारा अलंकार म्हणून वारा किंवा बारीक सारीक आघात यानें सहज हालतो, आणि म्हणूनच त्याची चमक नजरेंत भरावयास आपणास निरनिराळ्या कलांनीं आपली दृष्टि वळवण्याचें कारण नसतें. सर्वांत साधे व स्वस्त लोलक म्हणजे काचेचे त्रिधारी कांड्यांच्या आकृतीचे असतात ते. हंड्याझुंबरांमध्यें त्यांची माळ किंवा झुपके लोंबत ठेवण्याची चाल फार जुनी आहे. अशा त्रिधारी लोलकांत शिरून बाहेर पडलेल्या प्रकाशांत अनेक रंग उमटतात, ते विशेष मोहक असतात.

हिऱ्याच्या मोहकपणाचें एक कारण असें आहे कीं, त्याच्या पैलूंच्या विशेष आकृतीमुळें पुष्कळसा प्रकाश खड्यांत गेल्यावर पार न पडतां हाटकून मागें फिरवला जातो. तथापि यावरून त्याच्या झळकदार रंगीतपणाचा खुलासा होत नाहीं. हा खुलासा होण्यापूर्वीं आपणाला रंगाविषयीं कांहीं सामान्य विचार केला पाहिजे.

रंग

एखादें फूल रंगीत असतें, किंवा एखादी तावदानाची काच रंगीत असते, किंवा एखादें कागदावरचें चित्र रंगीत असतें, तसा हिरा रंगीत असतो असें मुळींच नाहीं. तांबडें जास्वंदीचें फूल शुभ्र प्रकाशांत धरलें तर तें कोणत्याही दिशेनें पाहिलें तरी तांबडेंच दिसतें; त्याचा रंग पालटत नाहीं. त्याजवर पडणारा प्रकाश शुभ्र असतो; परंतु त्याजवरून परतणारा प्रकाश तांबडा असतो; ही परतणूक फुलाच्या पृष्ठावरूनच घडून येते, पण हिऱ्याचें तसें नाहीं. हिरा शुभ्र प्रकाशांत धरला असतां तो ज्या कलानें पाहावा त्या कलाप्रमाणें वेगवेगळ्या रंगांच्या छटा त्याजवर उमटून दिसतात. हिऱ्याच्या पोटांत जाऊन परत वर आलेल्या प्रकाशांत रंग दिसतात. केवळ वरच्यावर परतलेच्या प्रकाशांत दिसत नाहींत. अंतरंगांत जाणें व तेथून परत वर येणें याच्याशीं त्याच्या रंगाचा संबंध आहे. साधा काचेचा त्रिधारी लोलक घेतला तर त्यांतून जो रंगाचा खेळ दिसतो, तो अंतरंगांत शिरून बाहेर पडलेल्या प्रकाशांतच दिसतो. पलीकडला पदार्थ मुळांत शुभ्र असतांही, लोलकांतून पाहिला असतां रंगीत आहे असें दिसतें.

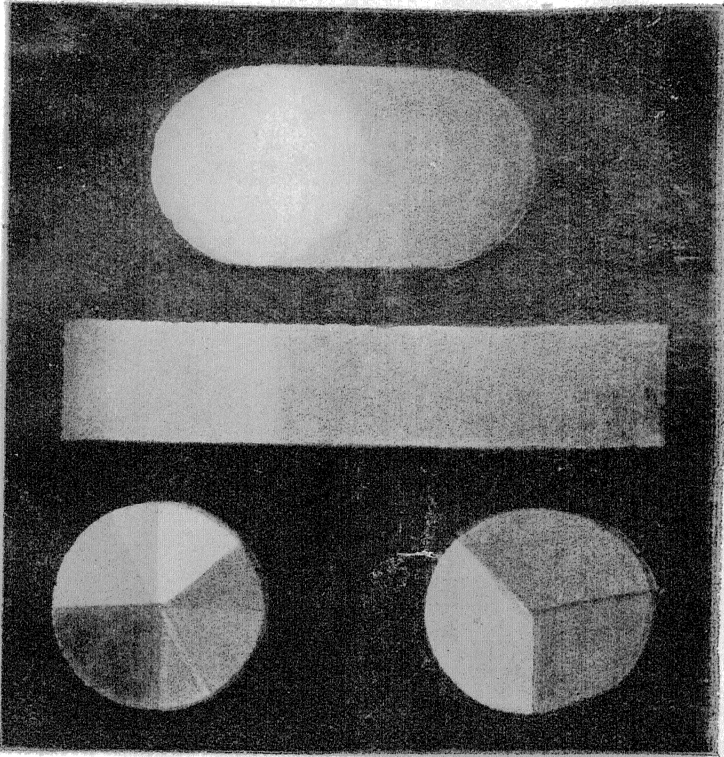
प्रस्तुत विचारावरून आतां असें सुचतें कीं अनेक प्रकारचे रंगीत प्रकाश मिळून शुभ्र प्रकाश झाला आहे. जास्वंदीच्या फुलावर पडणाऱ्या शुभ्र प्रकाशांतून बहुतेक तांबडाच परत फिरतो आणि पानावरून बहुतेक हिरवाच परत फिरतो; बाकीचे लुप्त होतात. काचेच्या किंवा पाण्याच्या पृष्ठाशीं देखील कांहीं कल ठेवून जेव्हां किरण आंत प्रवेश करतो तेव्हां, तसें करतांनाच वेगवेगळ्या रंगांचे किरण वेगवेगळ्या कलानें प्रवेश करतात, आणि म्हणून कवडशाच्या काठाला रंग दिसतात. मध्याला रंग दिसत

नाहींत; कारण तेथें शेजारशेजारच्या शुभ्र किरणांतून निघालेले वेगवेगळ्या रंगीत प्रकाशांचे किरण एकत्र आलेले असतात. प्रकाश पाण्यांतून किंवा काचेंतून बाहेर पडत असतां रंगांना असाच विभक्तपणा येतो. अगदीं थोडक्यांत सांगावयाचें झाल्यास तांबडा, पिवळा, हिरवा, निळा इ० प्रकारच्या प्रकाशांच्या मिलाफानें शुभ्र प्रकाश उत्पन्न होतो. तो जेव्हां पाण्यांत किंवा काचेंत प्रवेश करतो तेव्हां त्याचे वेगवेगळे घटक वेगळ्या वेगळ्या वेगानें प्रसार पावतात, आणि म्हणून आयात किंवा निर्यात करतांना त्यांना वेगवेगळे मार्ग मिळतात; अर्थात् अशा प्रसंगीं ते विभक्त होतात.

शुभ्रप्रकाशांत अनेक वर्ण

शुभ्र प्रकाशांत रंगीत प्रकाशाचा समावेश असावा, अशी कल्पना एकदां आल्यानंतर, तिचा प्रत्यय पाहण्याचे अनेक मार्ग सुचतात. त्यांतला एक मार्ग असा:—एका अंधाऱ्या कोठडींत एका खिडकीसमोर पांढरा स्वच्छ पडदा उभा करावा, आणि त्या खिडकींत एक बारीक छिद्र ठेवून त्यांतून सूर्यकिरण आंत येण्याची व्यवस्था करावी. या किरणांचा कवडासा पडद्याच्या तळांत घ्यावा.मग दर्शनी रंगीत चित्रांत दाखविल्याप्रमाणें वाटेंत एक त्रिधारी लोलक मांडावा. म्हणजे कवडसा पसरट होऊन बराच वर सरकलेला दृष्टीस पडतो. एवढेंच नव्हे तर त्यांत खालपासून वरपर्यंत ओळीनें तांबडा, नारिंगी, पिवळा, हिरवा, अस्मानी, निळा, जांभळा असे वर्ण दिसून येतात. त्रिधारी लोलकांत प्रवेश करणारे किरण शलाकारूप असतात, तर त्यांतून बाहेर पडणारे किरण शंकूरूप असतात. शलाकेंतल्या एकेका किरणापासून एकेक शंकु त्रिधारी लोलकांतून निघत असतो. या शंकूंचीं टोकें लोलकांत

न्यूटनकृत शुभ्रप्रकाशाची छाननी



(१) बारीक छिद्रांतून घेऊन कांचेच्या त्रिधारेंतून नेलेला सूर्यकिरणांचा कवडासा.

(२) बारीक फटींतून सूर्यकिरण घेऊन फुगट भिंगांतून आणि मग त्रिधारेंतून नेले असतां या फटीचीं भिन्नभिन्न वर्णांचीं प्रतिबिंबें रांगेनें उमटतात, त्यांस वर्णावलि म्हणतात. ती ही वर्णावलि

(३) सातरंगी तकट—न्यूटनकृत.

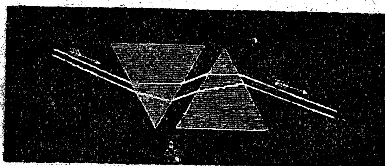
(४) तीनरंगी तकट—यंगकृत.

हीं तकटें फिरविलीं असतां काळसर पांढरीं दिसतात.

असतात, आणि त्याचा पसारा पुढें पडद्यापर्यंत होत गेलेला असतो. अर्थात् हे शंकू थोडेबहुत एकमेकांत घुसडलेले असतात.

लोलकामधून निघालेल्या या शंकूतून कांहीं एकरंगी किरण गाळून घेतले, आणि पुनः एकदां एका लोलकांतून नेले, तर काय होईल ? असा प्रश्न सहजच सुचतो. त्याचें उत्तर प्रयोगावरून निघतें तें असें कीं, असे गाळीव किरण दुसऱ्या लोलकांतून नेले असतां थोडेसे उमलतात एवढेंच; परंतु आणखी तिसऱ्या—चौथ्यांतून नेले असतां उत्तरोत्तर त्यांची उमलणी कमी होत जाते. रंगीत चित्रांत अशी दुबार उमलणी दाखविली आहे. शेवटीं येथें एका वर्णांतून दुसरा वर्ण निघत नाहीं, त्याच वर्णाच्या छटा निघत जातात.

शुभ्र किरणांतून बहुवर्ण प्रकाश निघतो तो पाहिला. आतां उलट बहुवर्ण किरण एकत्र करून शुभ्र प्रकाश दिसतो कीं नाहीं तें पाहिलें पाहिजे. याकरतां वरील योजनेंतील एका लोलकाशेजारीं



दुसरा एक लोलक असा मांडावा कीं, दोनही मिळून एक वीट तयार व्हावी. असें केलें असतां त्यापुढें रंग व उमलणी नाहींशी होऊन पहिल्यासारखाच जितक्यास तितक्या आकाराचाच कवडासा पुढें पडद्यावर जातो. हिरव्या व तांबड्या वर्णाचे कवडसे पडद्यावर एकत्र पाडले तर पिवळा कवडासा तयार होतो. यांतच जांभळा कवडासा मिसळला तर एकंदर कवडासा पांढरा होऊन जातो.

प्रकरण ८ वें.

इंद्रधनुष्य

निसर्गामध्यें जे अनेक सुंदर देखावे दृष्टीस पडतात त्यांत ढगामधील इंद्रधनुष्याइतका मनोहर देखावा दुसरा क्वचितच आढळेल. या देखाव्याला ज्यानें इंद्रधनुष्य हें नांव दिलें त्याचें लक्ष देखाव्याच्या बहुविध रंगापेक्षां कमानदार आकृतीकडेच अधिक वेधलें असावें असें दिसतें. कारण धनुष्य या शब्दावरून येथें कमानदारपणाच सूचित होत आहे. प्रस्तुत देखाव्याचा आणखी एक गुण त्याच्या नांवात सूचित होत आहे तो त्याचा भव्यपणा होय. हें धनुष्य सामान्य नव्हे इंद्राचें आहे, असें सांगण्यांत दुसरा कोणता हेतु असणार? इंद्रधनुष्याचा भव्यपणा आणि कमानदारपणा, या दोन गुणांमुळें आपलें लक्ष त्याजकडे ओढून जातें हें खरें; तथापि जो त्याचा गुण मनाला आल्हाद देतो तो त्याचा भव्यपणा नव्हे, तर त्याचा रंगीतपणा होय.

देखावा पाहिला, त्याला चांगलेसें नांव दिलें, तरी तेवढ्यानें मनाचें समाधान होतें असें नाहीं. विचारी मनुष्याच्या मनांत प्रश्नावर प्रश्न उपस्थित होतात. ढग म्हणजे केवळ पाण्याच्या थेंबांचा समूह; सूर्यकिरण पडले म्हणजे हा समूह चमकतो; एखाद्या तळ्यांतल्या पाण्यावर सूर्यप्रकाश पडला तर तें पाणी चमकतें, पण त्यांत इंद्रधनुष्याचे रंग दिसत नाहींत. खोल आणि स्वच्छ पाणी असलें म्हणजे त्यावर अमळ निळसर छटा दिसते, पण इंद्रधनुष्यांतल्या रंगासारखे रंग दिसत नाहींत. ढगामध्यें असा कोणता विशेष आहे कीं त्याच्या योगानें अनेक रंग दिसून यावेत? इंद्रधनुष्यांतले रंग विशेष क्रमानें एका कमानींतच प्रकट होतात ते कां? इंद्रधनुष्याला जो एवढा भव्य आकार येतो तो कशानें?

आपल्याला इंद्रधनुष्य करतां येईल काय? याकरितां कोणती सामग्री मिळविली पाहिजे?

मोठें इंद्रधनुष्य ढगांत दिसतें, परंतु छोटीं छोटीं धनुष्यें धबधब्यावरील तुषारामध्यें दिसतात. एवढेंच काय पण पाण्याची चूळ भरून उन्हांत फिसकारून दिली तरी देखील एक छोटेंसें इंद्रधनुष्य दिसतें. समोर तुषार आणि मागें सूर्य अशी स्थिति असली म्हणजे झालें. मग ते तुषार आपणच उत्पन्न केलेले असोत, किंवा पाणी डोंगरावरून खालीं पडल्यानें उत्पन्न झालेले असोत, किंवा इतर कारणांनीं उत्पन्न झालेले असोत, परिणाम एकच. या तुषारांपैकीं कांहीं तुषार प्रेक्षकांच्या डोळ्यांत तांबडा प्रकाश पोंचवतात. कांहीं नारिंगी, कांहीं पिवळा, कांहीं हिरवा, कांहीं निळा व कांहीं जांभळा प्रकाश पोंचवतात. प्रत्येक प्रकारचा प्रकाश देणारे तुषार एका रेखीव कमानींतच असतात, या कमानी, एकीच्या बरोबर आंत दुसरी अशा, तांबडीपासून जांभळीपर्यंत वसलेल्या असतात.

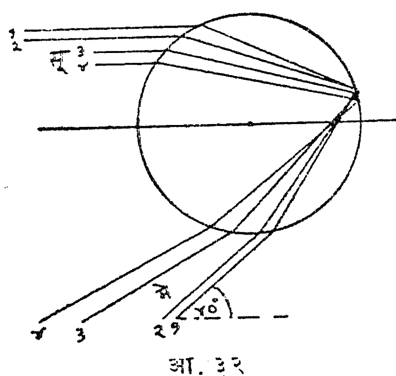
सोळाव्या शतकामध्यें विज्ञानाचा उदय होईपर्यंत इंद्रधनुष्य हा केवळ एक चमत्कार गणला जाई. सतराव्या शतकारंभीं विद्वानांनीं या चमत्काराचा उलगडा करण्याचा प्रयत्न केला. त्यांना हें लगोलग समजून आलें कीं, धनुष्यरूपी कमानी नेमक्या प्रेक्षकांच्या डोळ्यासमोर असतात. म्हणजे असें कीं या कमानींची अक्षरेषा बरोबर डोळ्यांमधून जाणारी असते; आणखी असें कीं ही रेषा त्या जागच्या सूर्यकिरणाला धरूनच असते. इतकें कळून आल्यावर, त्यांनीं प्रत्येक रंगाच्या कमानींतील बिंदू डोळ्याशीं अक्षरेषेपासून किती किती कोनीय अंतरावर आहेत, तें मोजून काढण्याचा उद्योग केला. त्यांना असें आढळलें कीं, धनुष्याचा तांबडा काठ ४२° अंशावर, तर जांभळा ४०° अंशावर असतो. अशा रीतीनें ढगांत

इंद्रधनुष्य कां दिसतें? या मोघम प्रश्नाला रेखीव गणिती स्वरूप प्राप्त झालें तें असें. तांबडा प्रकाश नेमका ४२ अंशांवर आणि निळा नेमका ४० अंशांवर कां दिसतो? या प्रश्नाचें उत्तर प्रथमतः न्यूटन यानें दिलें (१७७०) तें आतां सारांशतः पाहून घेऊं या.

उपपत्ति

प्रत्येक सूर्यकिरण हा अनेकवर्ण किरणांचा समुदाय असतो. असा सूर्यकिरण पाण्यांत प्रवेश करतांना वाकतो, तेव्हां त्यांतल्या प्रत्येक वर्णाच्या घटकाचें हें वाकणें वेगवेगळ्या इयत्तेचें असतें. तांबडा सर्वांत कमी आणि निळा सर्वांत अधिक वाकतो.

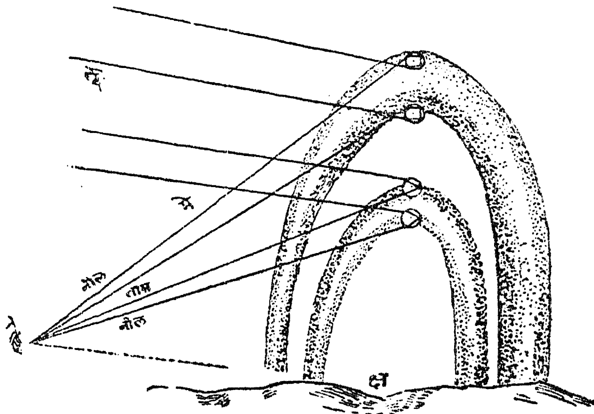
शेजारच्या आकृतीकडे पाहा. सू हे सूर्यकिरण आणि मे हे मेघ-किरण आहेत. सूर्यकिरणांपैकीं १,२,३,४ यामध्यें कोन मुळींच नाहीं, ते समांतर आहेत. हेच किरण पाण्याच्या थेंबांत जाऊन आले म्हणजे मेघ-किरण होतात. मेघ—किरणांत मात्र १,२ मध्यें कोन शून्यप्राय आहे. परंतु २,३ व ३,४ यामध्यें अधिकाधिक मोठा कोन झालेला आहे. प्रस्तुत आकृति नील किरणांना अनुलक्षून, परावर्तन आणि परिवर्तन यांच्या नियमानुसार, काढलेली आहे. तिजवरून हें उघड आहे कीं, तुषारावर येऊन परत जाणाऱ्या प्रकाशामध्यें निळा प्रकाश अक्षदिशेपासून ४०° अंतरावर विशेष ठळक असून इतरत्र तो अंधुक आहे. अशाच धोरणानें ताम्रप्रकाशाचे मार्ग रेखाटले असतां दिसून येतें कीं, तांबडा



आ. ३२

प्रकाश ४२° अंतरावर विशेष ठळक असून इतरत्र तो फिका असतो. इतर रंगांचे प्रदेश या दोन मर्यादांच्यामध्यें पडतात.

कधीं कधीं इंद्रधनुष्य दुहेरी दिसतें. नेहमींसारखेंच एक धनुष्य असून त्याच्या बाहेरच्या अंगाला दुसरें एक धनुष्य असतें; त्यांत



आ. ३३

तांबड्या वर्णाची कोर सर्वांच्या आंत असून इतर वर्णांच्या कोरा क्रमशः बाहेर बाहेर असतात, याचें कारण काय तें शेजारच्या आकृतींत दाखविलें आहे. ही आकृतिसुद्धां न्यूटन याच्या ग्रंथांतून परंपरेनें उतरून घेतलेली आहे. तुषारांमध्यें आंतल्या आंत दोनदा परावर्तन घडल्यामुळें हा आविष्कार होतो असें येथें दर्शविलें आहे. तांबडा वर्ण ५७° आणि निळा ५९° अंशावर असतो, असें अनुभवास येतें आणि प्रस्तुत उपपत्तीशीं जुळतेंही.

इंद्रधनुष्यांत दिसून येणारे रंग शुद्ध नसतात मिश्र असतात, हें वरील वर्णनावरून ध्यानांत आलेंच असेल. कोणत्याही एका दिशेंत एकाच वर्णाचें किरण येतात असें नाहीं. अनेक वर्णांचें

किरण येतात. त्यांपैकीं एकाच वर्णाचे विशेष दाट असतात एवढें मात्र खरें. अर्थात् एकच रंग उत्कट दिसतो. इंद्र-धनुष्यामध्यें बहुतेक लोकांना चार किंवा पांचच रंग ओळखतां येतात त्याचें कारणही हेंच आहे. वरच्या काठाला तांबडा, पिवळा, हिरवा हे सर्वांना ओळखतात; परंतु आंतल्या काठाला अस्मानी, निळा, जांभळा इतके पृथक्पणें सहसा ओळखूं येत नाहींत. सामान्यतः निळा असा एकच प्रकार ओळखूं येतो.

प्रयोग

वर जी इंद्रधनुष्याची मीमांसा केली आहे, तिची सत्यता पटवून घेण्यास पुढील प्रयोग करून पाहावाः—एका लहानग्या काचेच्या फुग्यांत स्वच्छ पाणी भरावें. सूर्याकडे पाठ करून उन्हांत उभे राहावें आणि डोळ्यापासून ४० ते ६० अंश कोनीय अंतरांत फुगा ठिकठिकाणीं धरून पहावा, म्हणजे त्या त्या कोनाला उचित असा इंद्रधनुष्यांतला रंग त्या त्या प्रसंगीं दिसून येतो.

इंद्रधनुष्यांत दिसणाऱ्या अनेक रंगांच्या संवेदना डोळ्यामध्येंच एकवटून काय होतें तें पाहाण्याजोगें आहे. एका चक्राच्या सात पाकळ्या कराव्या आणि प्रत्येक पाकळीवर एकेक रंग फासावा. मग तें चक्र झपाट्यानें फिरवावें म्हणजे थोडक्याच वेळांत चाक बहुतेक पांढरें दिसूं लागतें. हे प्रयोग प्रथमतः सर ऐझॅक न्यूटन यानें केले.

प्रश्नावलि

१ हिरे व लोलक हे झळकतात ते कशामुळें ?

२ निळ्या प्रकाशांत तांबडें फूल काळें दिसतें तें कां ?

३ शुभ्रप्रकाशाचे घटक कोणकोणते ? ते कसे वेगळे करून दाखवावे ?

४ इंद्रधनुष्य दिसण्यास कोणती परिस्थिति अवश्य आहे ?

प्रकरण ९.

आरशीचें इंगित

डोळ्याला हरप्रकारें साहाय्य करणारीं अनेक साधनें आज प्रचारांत आहेत, त्या सर्वांत आरशी किंवा उपनेत्र, याचा प्रचार मोठा असून तो पांचशें वर्षें तरी चालत आलेला आहे. हें साधन सर्वांत जुनें व साधेंही आहे. त्याचें इंगित काय तें आतां पाहून घेऊं या.

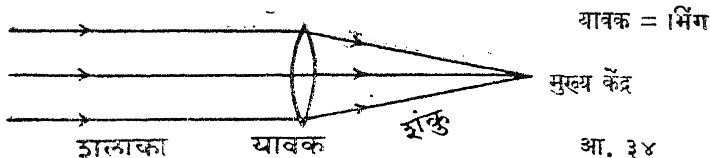
चांगल्या माणसाचे डोळे स्वाभाविकपणेंच असे असतात कीं त्याला दूरचा देखावा पाहण्यास आयास पडत नाहींत. आपण अगदीं शांतपणें शून्यदृष्टि केली म्हणजे समोर अगदीं दूरांत दूर असेल तोच देखावा दृष्टिपटलावर येतो, हा सर्वांसच अनुभव आहे. त्याहून अलीकडचा पदार्थ दृक्पटावर घ्यावयाचा म्हणजे आयासाशिवाय भागत नाहीं. पदार्थ जसजसा जवळ असावा तसतसा त्याजकडे दृष्टि रोखण्यास आयास अधिक असा अनुभव आहे. दूरचा पदार्थ जवळ झाल्यानें त्याच्यावरून पुष्कळच अधिक प्रकाश डोळ्यांत येऊं शकतो. त्यामुळें तो पदार्थ अधिक ठळक दिसतो हें खरें, परंतु त्यामुळें डोळ्यास श्रम व्हावयाचे ते होतातच. म्हणून जवळ पाहण्याचें काम फार केल्यानें डोळे थकतात.

वरील अनुभवावरून असें ठरतें कीं स्वभावतः डोळ्यामध्यें दूरचे जवळचे दोनही प्रकारचे देखावे पाहण्याची योजना असते; परंतु दूरचे पाहण्याची योजना अनायासाची आणि जवळचें पाहण्याची आयासाची आहे. अतिदूरच्या दृश्यांतील प्रत्येक टिंबापासून डोळ्यांत एकेक किरणशंकु येत असतो. तो इतका थोडा निमुळता असतो कीं तो शलाकारूपच असतो असें म्हणावयास हरकत नाहीं. निदान शलाकाप्राय तरी तो असतोच असतो. दूरची दृष्टि ठीक आहे पण जवळ दृष्टि रोखावयास त्रास होतो, अशी परिस्थिति

असली म्हणजे उपाय हाच कीं, जवळच्या पदार्थापासून जे रुंद शंकू डोळ्यांत येणार ते डोळ्यांत शिरतांना निरुंद किंवा शलाकाप्राय करून घ्यावयाचे. या कामीं फुगट भिंगाचा उपयोग होतो.

उपनेत्र

फुगट भिंग म्हणजे प्रकाशकिरणावर घालावयाची आवळणी आहे. शलाका आवळली म्हणजे शंकू तयार होतो. भिंगांत शिरण्यापूर्वी शलाका, भिंगांतून बाहेर पडल्यावर त्यापलीकडे शंकु, आणि त्या शंकूचें टोंक पलीकडल्याच अंगाला, अशी स्थिति असते. सूर्यकान्त भिंगांत सूर्यकिरणांची शलाका शंकु होऊन निघालेली पुष्कळांनीं पाहिली असेलही. या शंकूचें टोंक हा त्या भिंगाचा मुख्य



आ. ३४

केंद्र म्हणतात. भिंगाची फुगवटी जसजशी अधिक तसतशी त्याची किरण आवळण्याची शक्तीही अधिक. आयात शलाकेंतले किरण जसजसे अधिक आवळावे तसतसा निर्यात शंकू अधिकाधिक रुंदट होत जातो. अर्थात् त्याचें टोक अधिकाधिक त्याच्या तळाजवळ, आणि हा तळ भिंगांत असतो म्हणून भिंगाजवळ येत जातें. भिंगाच्या एका अंगानें शलाका येते तर दुसऱ्या अंगानें शंकूचें टोक बाहेर पडतें, हा संबंध कायमच असतो. अधिक एक नंबरच्या भिंगाचा मुख्य केंद्र १ चरणावर, +२ नंबरच्या भिंगाचा $\frac{1}{2}$ चरणावर + ३ नंबरच्या भिंगाचा $\frac{1}{3}$ चरणावर. +०.५ नंबरच्या भिंगाचा २ चरणावर + ०.२५ नंबरच्या भिंगाचा ४ चरणावर अशी गणना करण्याची रीत ठरलेली आहे. भिंगाचा नंबर हें

त्याच्या किरण आवळण्याच्या शक्तीचें माप आहे. अधिक चिन्ह आवळणुकीचें चिन्ह आहे. (चरण = मीटर)

समजा एका + १ नंबराच्या भिंगावर १ चरण अंतरावरून किरण येऊन पडले तर ते कोणत्या रीतीनें बाहेर पडतील ? जें भिंग शलाकेंतल्या किरणांना १ चरण अंतरावर एकाग्र करतें त्याचा नंबर +१. अर्थात् अशा भिंगावर जर एक चरणापासून निघालेले किरण आले तर ते शलाका होऊन बाहेर पडतील.

दूरदृष्टि वृद्ध

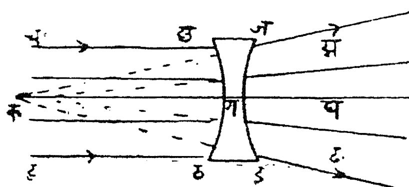
समजा एकाद्या वृद्ध मनुष्याला दूरचें चांगलें दिसतें, परंतु जवळ दृष्टि रोखण्याची शक्ति त्याला मुळींच नाहीं. त्याला आपले डोळे शलाकेशीं जुळवितां येतात, पण शंकूशीं जुळवतां येत नाहींत. अशा प्रसंगीं त्याची दृष्टि १ चरणावर रोखण्यायोग्य करून घ्यावयाची म्हणजे १ चरणावरून आलेल्या शंकूंना शलाकारूप देणारीं भिंगें डोळ्याच्या जोडीनें वापरावयास द्यावयाचीं, म्हणजे+१नंबरचें उपनेत्र द्यावयाचें. दुसरें काय ? अशा माणसाला जर $\frac{1}{4}$ चरणावर चांगली दृष्टि रोखावयाची असेल तर त्यानें + ४ नंबरचें उपनेत्र वापरावें. याहून जवळ दृष्टि रोखण्याचा प्रयत्न त्यानें करूं नये. कारण दोनही डोळ्यांची दृष्टि इतकी जवळ एकाग्र करण्याचे श्रम त्याला सोसणार नाहींत.

अतिदूर-दृष्टि व लघुदृष्टि तरुण

कांहीं माणसांना दृष्टि जवळ रोखतां येत नाहींच पण दूरवर देखील रोखतां येत नाहीं. रोखलीच तर त्यापासून त्यांना त्रास होतो. अशा लोकांना फुलता शंकू तर नाहींच, पण शलाका देखील दर्शनाच्या उपयोगी पडत नाहीं हें उघड आहे. त्यांना

अगोदर मिटता करून दिलेला शंकू उपयोगी पडतो. याकरतां त्यांना फुगट भिंगाची आरशी देतात.

कांहीं माणसें अशीं असतात कीं, त्यांना जवळचें दृश्य अनायासें दिसतें, परंतु दूरचें नीट दिसत नाहीं. अनायासें नाहीं आणि अयासानेंही नाहीं, किंबहुना त्यांना आयास करतांही येत नाहीं. त्यांना जवळचें दिसतें यावरून फुलल्या किरणशंकूंचा उपयोग त्यांना करतां येतो हें निश्चित आहे. त्यांना दूरचें दिसत नाहीं. परंतु दुरून येणारे किरणशंकू जर जवळून येणाऱ्या शंकूंच्या इतके रुंदट केले तर अशा लोकांची दृष्टि सुधारते. अशा प्रसंगीं फुगट भिंगांच्या उलट गुणाचीं भिंगें म्हणजे खोलगट भिंगें वापरावींत. फुगट भिंगें किरण आवळून घेतात, तर खोलगट भिंगें किरण फुल-

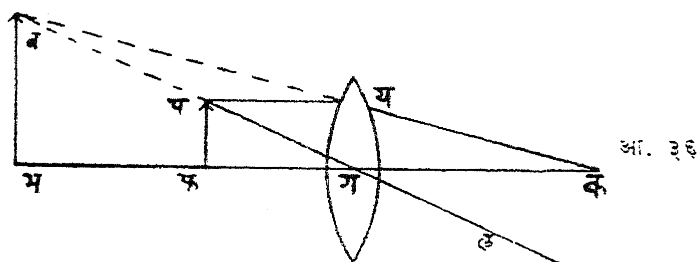


आ. ३५.

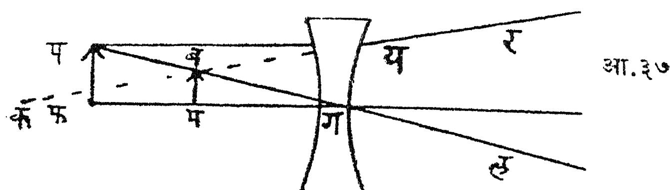
वून देतात. खोलगट भिंगावर शलाका आली तर त्यांतून फुलता शंकू बाहेर पडतो. या शंकूचें टोंक मागें कल्पावें लागतें. अक्षाला धरून येणाऱ्या शलाकेचा जो शंकू बनतो त्याचें टोंक जेथें कल्पावें लागतें, तेथें त्या भिंगाचा मुख्य केंद्र कल्पावयाचा. ज्यांना जवळचें दिसतें आणि दूरचें दिसत नाहीं त्यांना फुलत्या शंकूशीं डोळा जुळवतां येतो, शलाकेशीं येत नाहीं. अशा लोकांना खोलगट भिंगाचें साहाय्य मिळालें असतां दूरचें दिसूं शकतें. भिंगाची फुलवशक्ति मोजण्याची रीत आवळशक्ति मोजण्याच्या रीतीसारखीच आहे. फुलवशक्ति दाखविण्याकरितां अंकामागें उणें चिन्ह लिहितात.

भिंगाचें इंगित.

ज्यांचे डोळे निर्दोष आहेत किंवा ज्यांनीं आपले डोळे उपनेत्राच्या साहाय्यानें निर्दोष करून घेतले आहेत, त्यांना फुगट खोलगट भिंगाची प्रथम ओळख विकासक आणि आकुंचक भिंग म्हणून होते. फुगट भिंग विकासक आणि खोलगट भिंग तें आकुंचक म्हणतात. फुगट भिंगाचा उपयोग भिंग म्हणून करावयाचा असला म्हणजे लक्ष्य त्यापासून मुख्य केंद्रापेक्षां किंचित् जवळ धरावें आणि त्यांजकडे भिंगामधून जणूं तो पदार्थ अतिशय दूर आहे अशा भावनेनें पाहावें. खोलगट भिंगांतून पाहिलें असतां लक्ष्य आकारानें आकुंचित झाल्याचें दिसून येतें. फुगट भिंगांतून कुसळाचें मुसळ आणि खोलगट भिंगांतून मुसळाचें कुसळ करून दाखवितां येतें, हा काय चमत्कार आहे पाहूं या.

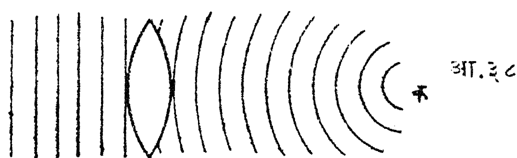


प पासून निघालेला शंकू भिंगापार गेल्यावर दिसतो तो जणूं ब पासून निघाला आहे. फुगट भिंगांत तो आवळला जातो आणि खोलगट भिंगांत तो फुलवला जातो. प्रत्येक प्रसंगीं (१) भिंगाच्या गर्भांतून जाणारा किरण अतिशय थोडा चळतो, किंवा चळत नाहीं म्हटलें तरी चालेल; (२) अक्षाला धरून जाणारा किरण न चळतांच पार पडतो. आणि (३) अक्षसमांतर असलेला किरण मुख्य केंद्रांतून पार पडतो. (४) फुगट भिंगाच्या



व्यावर्तीत हा मुख्य केंद्र पलीडकचा आणि खोलगट भिंगाच्या व्याव-र्तीत अलीकडचा घ्यावयाचा असा संकेत आहे. प फ चें प्रतिबिंब ब भ हें होय. हें पडद्यावर घेण्याजोगें नसतें, अनाश्रय असतें.

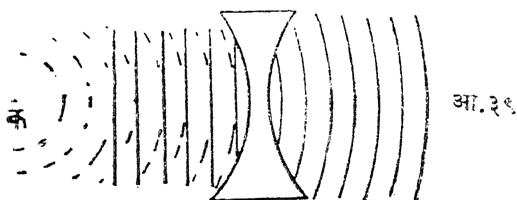
भिंगांच्या योगानें दिसून येणाऱ्या सर्व प्रकाशचमत्कारांचें विवरण तरंगकल्पनेनुसार सहज करतां येतें. तरंगमुखें किरणाच्या काटकोनांत असतात हें ध्यानांत ठेवलें म्हणजे झालें. किरणशलाका म्हणजे सरळ तरंग होत. असे तरंग फुगट भिंगांमधून जात अस-



तांना भिंगाच्या अक्षाला धरून जाणाऱ्या भागास सर्वांहून अधिक मोठा मार्ग कांचेंतून आक्रमावा लागतो, म्हणून तें सर्वांच्या मागें रेंगाळतें. तरंगमुख जितकें अक्षापासून दूर तितकें तें कमी रेंगाळतें हें उघडच आहे. अर्थात् भिंगापार तरंगाची आकृति आतां सरळ राहात नाहीं. पडल्यावर तरंगाचीं टोंकें पुढें सरसावतात आणि मध्य मागें राहतो. भिंगांना योग्य फुगवटीं दिली असली म्हणजे तरंगाचीं सर्व मुखें मिळून एक कंसाकृति तयार होते. या आकृतीचा

तरंग पुढें चालूं लागला म्हणजे तो मिटत मिटत एका बिंदूत मिटतो. हा बिंदूच भिंगाचा मुख्य केंद्र होय.

खोलगट भिंगांचे कांठ जाडी आणि मध्य पातळ असतो, म्हणून त्यांतून सरळ तरंग बाहेर पडल्यावर त्याचा मध्य पुढें सरसावतो आणि टोंकें रेंगाळतात. त्याची आकृति कंसाचीच परंतु



फुलत्या कंसाची होते. असा कंस डोळ्यांत गेला असतां त्याच्या फुगवटीवरून डोळा त्याच्या उगमाचा अंदाज करतो. सारांश असा कीं, फुगट भिंग प्रकाशतरंगांना खोलवटी देतें आणि खोलगट भिंग फुगवटी देतें. या खोलवटीचें किंवा फुगवटीचें माप तेंच भिंगाच्या प्रभावानें माप होय. भिंगापासून त्याच्या मुख्य केंद्राचें अंतर सांगणें म्हणजे पर्यायानें हें माप सांगणेंच होय.

प्रश्नावलि

१ एका माणसाला एक चरण अंतरापर्यंत दृष्टि चांगली रोखतां येते पण त्याहून जवळ रोखता येत नाहीं. ¼ चरणापर्यंत दृष्टि रोखता यावी म्हणून त्याला कोणतें उपनेत्र द्यावें ?

२ एका माणसाला दोन चरण अंतरापर्यंत दृष्टी रोखतां येते पण त्याहून दूर रोखतां येत नाहीं. त्याला उपनेत्र कोणतें द्यावें ?

३ फुगट भिंगास विकासक भिंग आणि खोलगट भिंगास आकुंचक भिंग असें कां म्हणतात ?

प्रकरण १०

पडद्यावरचीं चित्रें

मनुष्याच्या आयुष्यांत त्याच्यावर बरेवाईट अनेक प्रसंग येऊन जातात. सुखाचे प्रसंग त्याला सतत यावेसे वाटतात तर दुःखाचे प्रसंग त्याला मुळींच नको असतात. असें असलें तरी सुखाचे आणि दुःखाचे दोनही प्रकारचे प्रसंग लटक्या माणसावर आलेले पाहण्यांत त्याला मोठी मौज वाटते, किंबहुना सुखापेक्षां दुःखाचेच प्रसंग पुनःपुनः पाहावेसे वाटतात. सिंह, वाघ इत्यादि हिंस्र पशूंच्या वाऱ्याला देखील तो उभा राहणार नाहीं; परंतु लटके सिंह, वाघ घटका वटका रोज पाहिले तरी पुरें व्हावयाचे नाहींत. लटकीं माणसें किंवा लटके सिंह, वाघ जितके खऱ्यासारखे भासतील तितका त्याला आनंद अधिक होतो. अशा आनंदाचा अनुभव मिळण्याकरितांच चित्रपटांची प्रथा निघाली.

नुसते चित्रपटच काय, पण आधुनिक व्यवहारांतल्या इतर कित्येक चिजा कांचेच्या भिंगाच्या अभ्यासामुळें माणसाला लाभलेल्या आहेत. भिंगाच्या योगानें मोठ्या बिंबाचें लहान प्रतिबिंब किंवा लहान बिंबाचें मोठें प्रतिबिंब मिळूं शकतें. दृश्य वस्तूचें छोटें प्रतिबिंब घेऊन तें पक्कें करावयाचें, आणि त्याजवरून पुनः इष्ट स्थलीं आणि इष्ट वेळीं त्याचें मोठें प्रतिबिंब उमटवावयाचें, अशी सोय हल्लीं झालेली आहे. यांत आणखी एक सोय अशी आहे कीं, एकदां पक्क्या केलेल्या चित्रपटावरून अनेक वेळां चित्रप्रदर्शन करतां येतें. दृश्य वस्तू, किंवा वास्तवदृष्ट्या प्रकाशाचा उगम, लहानाचा मोठा किंवा मोठ्याचा लहान करण्याचें साधन जें भिंग तें या कामामध्यें विशेष महत्त्वाचें आहे.

छिद्रकोटर. सुईवेध कोठडी

पडद्यावर प्रतिबिंब घेण्याचा सर्वांत सोपा उपाय हा कीं, पडदा आणि बिंब यांच्यामध्यें पण पडद्याला वराच जवळ एक आडोसा उभा करून त्याला बारीकसें भोक पाडावयाचें. दिवसा उजेडीं अंधाऱ्या खोलीमध्यें हा प्रयोग चांगला करावयास सांपडतो. एका खिडकींत एक रुपयाएवढें भोंक ठेवावें, आणि त्या भोकाला लगत पत्रे किंवा पुठ्ठे सरकवतां येतील अशी व्यवस्था असावी. प्रसंगीं जो योग्य तो पत्रा किंवा पुठ्ठा तेथें बसवावा म्हणजे झालें. वेगवेगळ्या आकारांचीं व आकृतींचीं भोंकें पुठ्ठयांत किंवा पत्र्यांत पाडून ठेवावींत आणि ते पत्रे किंवा पुठ्ठे खिडकीलगतच्या भोंकांत ठेवण्याकरितां वापरावे. या अगदीं साध्या व अल्पमोली सामानाचा उपयोग केला असतां प्रकाशाविषयीं बहुमोल ज्ञान लाभेल.

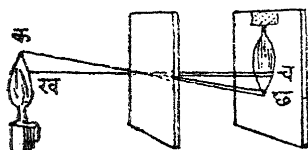
प्रथमतः एकाद्या मोठ्या भोकांतून पडद्यावर सूर्यप्रकाश घ्यावा म्हणजे कवडसा भोकाच्या आकृतीचा दिसतो. नंतर भोक बारीक करीत जावें, म्हणजे भोकाची आकृति कांहींही असो, कवडशाची आकृति वाटोळी होते. 'तें कां ?' 'मूळ बिंब वाटोळें आहे म्हणून.' थेट सूर्यप्रकाश घेण्याऐवजीं एकाद्या इमारतीवरून, समजा समोरच्या देवळावरून प्रकाश घ्यावा. म्हणजे पडद्यावर खालीं शिखर वर पाया असें देऊळ उमटतें असें दिसून येतें. एकूण पडद्यावर विपर्यस्त खरें, पण बिंबानुरूप प्रतिबिंब उमटतें यांत शंका नाहीं. झाडाच्या पानांमधून खालीं सूर्यप्रकाश जाऊन जे कवडसे उमटतात, ते सुद्धां सूर्यप्रतिबिंबेंच असल्यामुळें त्यांची आकृति वाटोळी असते, मग पानांमधील फटींची आकृति कांहींही असो, ही गोष्ट नित्य अनुभवास येणारी आहे.

आतां क्रमाक्रमानें मोठें मोठें भोक आडोशांत ठेवीत जावें. म्हणजे क्रमाक्रमानें प्रतिबिंबाचा उजळपणा वाढतो; पण त्याबरोबरच

त्याचा रेखीवपणा कमी होऊन त्यास पुसटपणा येऊं लागतो. शेवटीं आडोशाचा मोठा भाग खुला केला, भिंतींतली खिडकीच उघडली, म्हणजे पडद्यावर किंवा समोरच्या भिंतीवर उज्ज्वल प्रकाश पडतो खरा, पण त्यांत प्रतिबिंबाचा मागमूसहि राहात नाहीं.

आतां आडोशांत भोक बारीकच ठेवावें, पण पडदा त्यापासून दूरदूर न्यावा. म्हणजे आढळून येतें कीं, प्रतिबिंबाच्या रेखीवपणांत बदल होत नाहीं, परंतु त्याचा आकार मोठा होत जातो आणि उजळाई कमी कमी होत जाते. या सर्व गोष्टींचें विवरण करणें अगदीं सोपें आहे तें असें.

बिंबासमोर पडदा ठेवला, म्हणजे पडद्याच्या प्रत्येक टिंबांत बिंबाच्या प्रत्येक टिंबांतला प्रकाश आलेला असतो. मध्यंतरीं बारीक छिद्राचा आडोसा ठेवला, म्हणजे बिंबाच्या प्रत्येक टिंबापासून केवळ एक अतिशय निमुळता किरणशंकूच छिद्रांतून समोरच्या पडद्यावर जाऊं शकतो. अर्थात् या शंकूचा तळ पडद्यावर असतो; पण तो इतका आकुंचित असतो कीं, तो एकाद्या टिंबाएवढाच असतो म्हणावयास हरकत नाहीं. एकूण बिंबाच्या एकेका टिंबागणिक पडद्यावर एकेक प्रतिटिंब तयार होतें, आणि सर्व प्रतिटिंबें मिळून एक प्रतिबिंब सिद्ध होतें. आडोशांतील भोंक मोठें केलें, म्हणजे एकेका टिंबापासून निघालेला जो किरणशंकू छिद्रांतून आंत जातो तो बराच रुंद असतो. त्याचा तळ मोठा असून तो पडद्यावर बरीच जागा व्यापतो. शेजारशेजारच्या दोन टिंबांवरून निघालेल्या प्रकाशाला पडद्यावर

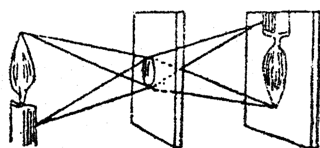


आ. ४०

विभक्त जागा मिळत नाहींत. पड्यावरील प्रकाश सरमिसळ होतो. प्रतिबिंब उजळतें पण पुसट होतें.

निकाशकोटर

छिद्रकोटर वापरून सुरेख प्रतिबिंब मिळवावयाचें म्हणजे बिंबावरून निघालेला बहुतेक प्रकाश आडोशानें आडवून धरावा लागतो. त्यामुळें प्रतिबिंब अंधुक होतें. तेव्हां प्रतिबिंब अंधुक न होतां सुरेख राहावें याकरितां काय योजना करावी ? हा प्रश्न पुढें उभा राहतो. पड्यांतील भोक मोठें केलें म्हणजे त्यांतून एकेका टिंबांत उगम पावलेला मोठा आणि फुलता किरणशंकु आंत जाणार हें निश्चित आहे. या फुलत्या शंकूंना मिटतें करण्याचें साधन वापरलें तर कोठेंतरी आंतल्या अंगाला ते केंद्रित होतील हें उघड आहे. फुगट भिंग हें असें



आ. ४१

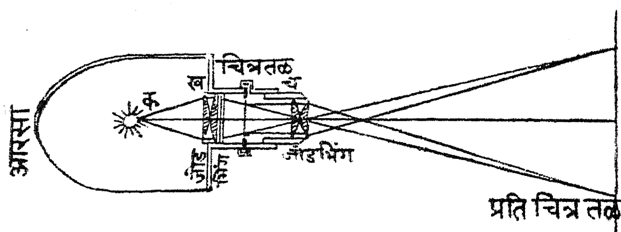
साधन आहे हें आपणांस माहीत आहे. तर मग आडोशांतील भोकांत असें भिंग बसवावें म्हणजे काम झालें. मात्र असें केल्या-वर बिंब आणि भिंग यांमधील अंतरास योग्य तितक्या नेमक्या एका अंतरावरच प्रतिबिंब मिळेल, इतरत्र मिळणार नाहीं.

एका पेटीच्या एका तटांत बारीक भोंक पाडावयाचें, व त्या समोरच्या तटांत खरचट काच बसवावयाची, म्हणजे झालें छिद्र-कोटर. याच्या पाठकाचेवर समोरच्या देखाव्याचें प्रतिबिंब उमटतें. या काचेच्या जागीं निकाशपाटीवरील किंवा पट्टीवरील रसायनावर प्रकाशानें विक्रिया होऊन पुढें कागदावर चित्र छापून घेतां येतें. प्रकाशानें चित्र उमटवणें, या क्रियेस प्रकाशलेखन किंवा थोड-क्यांत 'निकाशन' म्हणावें, आणि लिखित चित्रास नुसतें

' निकाश ' म्हणावें. छिद्रकोटर निकाशनाच्या कामीं वापरतां येतें. परंतु तसें करतांना उघडीक बराच वेळ द्यावी लागते. भिंग लावून निकाशकोटर बनविलें असतां. उघडीकीला थोडका वेळ पुरतो. मात्र केंद्र जमवून घ्यावें लागतें.

चित्रप्रदर्श

काचेवर किंवा पट्टीवर चित्रें उमटवून ठेवलीं, म्हणजे तीं वाटेल त्या वेळीं पडद्यावर वाटेल तेवढीं मोठीं करून दाखवतां येतात. या कामाकरतां प्रदर्शाची योजना असते. या साधनांत मुख्य भाग



आ. ४२

फुगट भिंग* हाच असतो. या भिंगाच्या मागें त्याच्या मुख्य केंद्रां-पेक्षां किंचित् दूर एक चिमकुलें चित्र मांडतात आणि भिंगासमोर दूरवर एक मोठा पडदा मांडतात. काच असेल तिच्या स्वच्छ भागांतून प्रकाश आल्या पावलींच पुढें जातो; परंतु रेखित भागांत तो दाही दिशांस फांकतो. या फाकलेल्या प्रकाशांतले शंकू पुढील भिंगावर पडतात आणि तेथून पुन: प्रकाश चहूंकडे पांगतो. या प्रकाशानें आपणांस पडद्यावरचें चित्र दिसतें.

निकाशकोटराप्रमाणें चित्रप्रदर्शांतही बिंब आणि प्रतिबिंब यांचीं स्थानें आगाऊ ठरवून घेतात. मग योग्य जागीं भिंग आणून ठेवतात. यासाठीं भिंगाची सारासार करण्याची योजना असते.

---

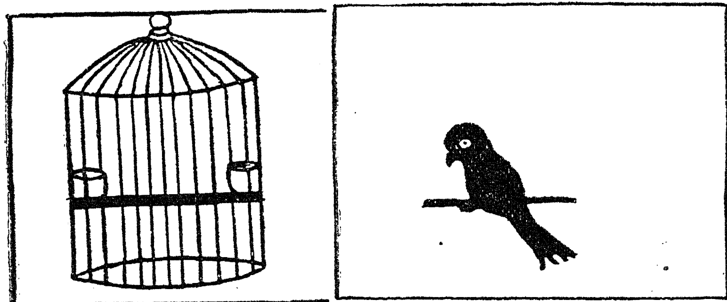
* येथें एकेरी भिंग न वापरतां जोडभिंग वापरणें श्रेयस्कर असतें.

संदर्श. चालतीं चित्रें

नैसर्गिक हालचालींचे देखावे फार मनोरंजक असतात. एकाद्या देखाव्याचें चित्र काढून ठेवलें म्हणजे ज्या क्षणाला तो देखावा निकाश–कोटरांत घेतला असेल त्या क्षणाचीच एकटी एक त्याची अवस्था आपणास पुनः पाहावयास मिळते. क्षणोक्षणीं देखावा बदलला म्हणजेच तेथें चालतेपणाची भावना उत्पन्न होते. अशीच भावना कृत्रिम चित्रानें उत्पन्न करावयाची असल्यास डोळ्यापुढून एक चित्र नाहींसें करून त्याच्या जागीं दुसरें आणून ठेवण्याची योजना केली पाहिजे.

नैसर्गिक देखाव्यामध्यें एक अवस्था नाहींशी होऊन त्या जागीं दुसरी उत्पन्न होत असते. अगदीं अशीच गोष्ट कृत्रिम रीतींत साधत नाहीं. एक चित्र काढून घेऊन त्याच्या जागीं दुसरें मांडतां येईल, परंतु ही मांडामांड करतांना होणारी चित्रांची हालचाल होणार ती दृष्टीआड केली पाहिजे. नाटकामध्यें एक देखावा काढून त्याच्या जागीं दुसरा उभा करतांना, पाहणारांपुढें पडदा सोडणें भाग आहे. बरोबर हीच गोष्ट चालतीं चित्रें दाखवतांना करीत असतात. देखाव्याचा निकाश घेण्याला फार थोडा, जवळ जवळ शून्यच, वेळ लागतो. तात्काळ निकाशनाच्या रीतीनें दाखवावयाच्या देखाव्याचीं चित्रें एका विपळांत १६ घेतात, आणि दाखवतांना विपळांत सोळा याच वेगानें दाखवतात. खबरदारी मात्र अशी घेतात कीं एक चित्र काढून दुसरें मांडतांना पुढें पडदा ओढला जावा. पायाच्या जागीं दाखवावयाचें दृश्य फक्त पायाच्या जागींच दाखवलें पाहिजे. तें डोक्याच्या जागीं दिसतां कामा नये. एवढ्याकरतां ही पडद्याची व्यवस्था करणें भाग असतें.

एक चित्र काढून घेऊन त्याच्या जागीं दुसरें मांडण्याची व्यवस्था इतक्या झटपट करतात कीं, या कालांत पडद्यावर मुळींच अंधार असतो हें डोळयाला उमगत नाहीं, डोळ्यावर उमटलेल्या चित्राचा ठसा या अवधींत कायम राहतो.



आ. ४३

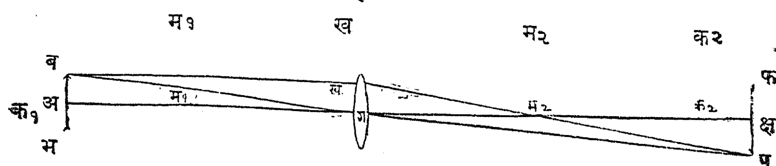
[उदाहरणार्थ एका पुठ्ठ्याच्या एका अंगास पिंजऱ्याचें चित्र आणि शेजारी दुसऱ्या अंगास राघूचें चित्र चिकटवा, आणि मधोमध उभी कामटी लावून पुठ्ठा झपाट्यानें फिरवा. म्हणजे राघू पिंजऱ्यांत बसला आहे असें दिसेल.]

चित्रें दाखवण्यामध्यें एकेका चित्राच्या वांट्यास $\frac{१}{१६}$ विपळ येतें यापैकीं $\frac{१}{८०}$ विपळांत एका चित्राच्या जागीं दुसरें चित्र मांडलें जातें, आणि $\frac{४}{८०}$ विपळापर्यंत तें जागच्या जागींच राहतें. एका खिडकींतून हीं चित्रें दाखवतात. या खिडकीपुढें एक झापड असते. ती नेमकी एक चित्र ढकलून दुसरें चित्र मांडण्याच्या वेळींच खिडकीपुढें येते. $\frac{४}{८०}$ विपळभर डोळ्यावर उमटवलेली संवेदना $\frac{१}{८०}$ विपळ(सेकंद)पर्यंत सहजच टिकते दर. $\frac{४}{८०}$ विपळानंतर $\frac{१}{८०}$ विपळ डोळ्यावर प्रकाश नसतो, पण तसें कळून येत नाहीं.

प्रकरण ११

भिंगाचा प्रभाव

फुगट भिंगांच्या योगानें बिंबाचें प्रतिबिंब मिळवतां येतें. तें प्रसंगीं अनाश्रय असतें प्रसंगीं साश्रय असतें, प्रसंगीं लहान असतें प्रसंगीं मोठें असतें, या संबंधानें कांहीं नियम सांगतां येतो कीं काय तें आतां पाहिलें पाहिजे



आ. ४४

मध्यंतरीं फुगट भिंग उभें आहे. डाव्या अंगाला ब भ हें बिंब आहे त्याचें प्रतिबिंब प फ हें उजव्या अंगाला उमटलें आहे. $म_1$ $म_2$ हे भिंगाचे डाव्या उजव्या अंगाचे मुख्य केंद्र आहेत. ब येथून निघून अक्षाला समान्तर जाणारा ब ख हा किरण दुसऱ्या बाजूच्या मुख्य केंद्रांतून पलीकडे अक्ष ओलांडून गेला आहे. ब पासून ग या भिंगाच्या गर्भातून जाणारा किरण थेट सरळ अर्थात् अक्ष ओलांडूनच जात आहे. हे दोन किरण प येथें मिळते आहेत.

अ ब ग आणि क्ष प ग हे अनुरूप त्रिकोण आहेत.

$$\therefore \quad \frac{\text{अ ब}}{\text{प क्ष}} = \frac{\text{अ ग}}{\text{ग क्ष}}$$ याचा अर्थ असा कीं,

बिंब-प्रतिबिंबांचे आकार आणि त्यांचीं भिंगापासून अंतरें एकाच प्रमाणांत बदलतात *

प्रतिबिंबाचें स्थान हें बिंबाचें भिंगापासून अंतर, आणि भिंगाचा

* हाच नियम आरशासही लागू पडतो. आ. १२ व १४ पाहा.

प्रभाव, यावर अवलंबून आहे. भिंगाचा प्रभाव हा त्यापासून त्याच्या मुख्य केंद्राचें जें अंतर त्यानें मोजला जातो. या अन्तरास त्याचें आयमन (केंद्रान्तर) म्हणावें. भिंगाचें आयमन आ असणें याचा अर्थ असा कीं तें त्याजवर येणाऱ्या प्रकाशतरंगांना $\frac{१}{आ}$ इतकी वक्रता देतें. तें फुगट असलें तर ही वक्रता घन (अंतर्मुख) असते, आणि खोलगट असलें तर ती ऋण (बहिर्मुख) असते. (पृ० ५८, ५९) तरंगांची ऋणवक्रता म्हणजे किरणांची फुलावट आणि घनवक्रता म्हणजे किरणांची मिलावट समजावयाची.

बिंबातून येणाऱ्या किरणांची फुलावट मोजावयाची ती अशी

१ ÷ बिंबाचे भिंगापासून अन्तर

एकूण $\frac{१}{ब\ अ} + \frac{१}{म\ अ} = \frac{१}{प\ अ}$

ब अ म्हणजे भिंगापासून बिंबाचें अंतर

म अ म्हणजे मुख्य केंद्राचें अंतर आणि

प अ हें प्रतिबिंबाचे भिंगापासून अंतर समजावयाचें.

भिंगापासून बिंबाच्या बाजूचीं अंतरें धन आणि त्याविरुद्ध बाजूचीं ऋण समजावयाचीं. भिंग फुगट असलें म्हणजे म अ ऋण असतें म्हणून डाव्या बाजूच्या दोन पदांमध्यें चिन्ह ऋण येतें. भिंगाचा प्रभाव + १ असतांना

(१) बिंब अतिदूर असलें म्हणजे

$\frac{१}{ब\ अ} = ०;\ \frac{१}{म\ अ} = -१,\ \frac{१}{प\ अ} = ० - १ = -१$

∴ पअ = − १

म्हणजे प्रतिबिंब भिंगापलीकडे १ चरणावर असून साश्रय असतें.

(२) बिंब २ चरण (मीटर) अंतरावर असलें म्हणजे

$\frac{1}{\text{ब अ}} = \frac{1}{2}$. $\frac{1}{\text{प अ}} = \frac{1}{2} - 1 = -\frac{1}{2}$ ∴ पअ = −२

म्हणजे प्रतिबिंब, भिंगापलीकडे २ चरणावर असतें. आ. ४४ मध्यें क, क_2 हीं स्थानें या प्रसंगास अनूलक्षून दाखविलीं आहेत.

(३) बिंब १ चरणावर असलें म्हणजे

$\frac{1}{\text{ब अ}} = 1$. $\frac{1}{\text{प अ}} = 1 - 1 = 0$ ∴ प अ अत्यंत मोठें म्हणजे प्रतिबिंब अत्यंत दूर असतें.

(४) बिंब १ चरणापेक्षां कमी अन्तरावर असलें म्हणजे

$\frac{1}{\text{प अ}}$ हें पद धन असतें,

म्हणजे प्रतिबिंब बिंबाच्याच बाजूला अर्थात् अनाश्रय असतें. उदाहणार्थ ब अ $\frac{1}{2}$ असलें तर $\frac{1}{\text{ब अ}} = 2$. $\frac{1}{\text{प अ}} = 2 - 1 = 1$

म्हणजे प्रतिबिंब बिंबाच्याच बाजूला १ चरणावर असतें.

भिंग खोलगट असलें म्हणजे म अ धन असतें. म्हणून प अ सुद्धां धनच असतें. म्हणजे प्रतिबिंब बिंबाच्याच बाजूला, अर्थात् अनाश्रय असतें.

प्रश्नावलि

(१) तट्ट्याच्या चौकोनी फटींतून सूर्यकिरणांचे कवडासे वाटोळेच येतात ते कां ? (२) छिद्रकोटर वापरण्यापेक्षां निकाशकोटर वापरण्यांत फायदा काय ? (३) निकाशकोटर आणि चित्रप्रदर्शी यांत साम्य वैषम्य कोणतें ?

(४) फुगट भिंगाच्या साहाय्यानें बिंबाएवढेंच प्रतिबिंब उमटावयास +२ भिंग बिंबापासून किती अंतरावर ठेवावें ?

———

प्रकरण १२

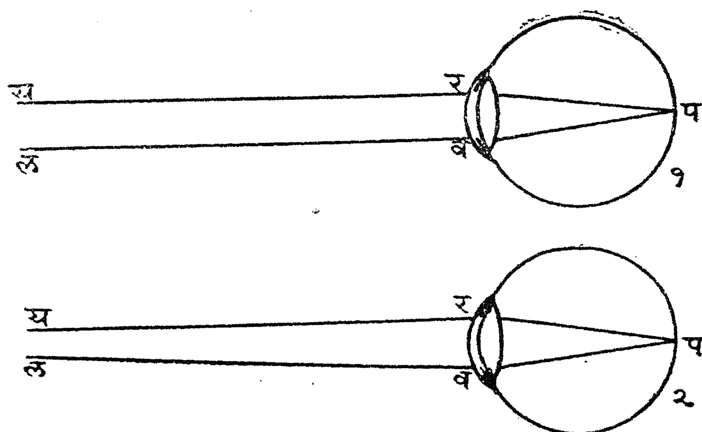
दर्शनाचें इंद्रिय

आपला डोळा म्हणजे एक चित्रकाराची कोठडी आहे. ही कोठडी गोल आहे. या छोट्या कोठडीच्या मागल्या अंगाला एक आस्तर आहे. या आस्तरपटलावरच चित्रें उमटवावयाचीं असतात. सूर्य हा येथील नेहमींचा चित्रकार आहे. केव्हां केव्हां दिवे चित्रकाराचें काम करतात. अर्थातच त्यांना सूर्याची बरोबरी करतां येत नाहीं. सूर्य हा जरी कुशल कारागीर असला तरी त्याचा स्वभाव फार तापट आहे म्हणून त्याचा हात थेट डोळ्यांत जाण्यास आपण सहसा वाव देत नाहीं. सूर्यबिंबाच्या समोर जो जो पदार्थ देईल त्या त्या पदार्थावर सूर्य आपल्या तेजाचा वर्षाव करतो. या तेजाचें उत्तेजित झालेले पदार्थ सभोंवार किरण फेकूं लागतात.

सामान्य चित्रकार एकाच लेखणीनें चित्राचे सर्व भाग रेखाटतो. डोळ्यांत चित्रें काढणारा चित्रकार तसें करीत नाहीं. देखाव्याच्या प्रत्येक टिंबागणिक तो एकेक लेखणी तयार करतो. या लेखणीचें एक टोक त्या टिंबांत असतें तेथून ती लेखणी क्रमाक्रमानें फुलत जाते ती डोळ्याच्या बुबुळापर्यंत. डोळ्यावर टेकल्यापासून ती आंत निमुळती होत होत नेमकी दृष्टिपटलाला टेकतांच तिला टोक येतें. एका टिंबाला एक प्रतिटिंब तयार होतें. प्रकाशाच्या प्रत्येक लेखणीला टोक करण्याचें काम डोळ्याचें आहे.

निकाश कोटरामध्यें बिंबप्रतिबिंबाची जागा आगाऊ ठरवून मग भिंगाची सारासार करून संयोजना साधतात. परंतु डोळ्यामध्यें तीनहीं जागा नेमक्या आगाऊ ठरवून घेतलेल्याच असतात. भिंगाची फुगवटी कमजास्त करण्याची तेवढी मोकळीक असते.

बिंब जितकें जवळ तितकें भिंग अधिक फुगट करून घ्यावें लागतें. म्हणजेच बिंब डोळ्यांत प्रतिबिंब होतें. एरवी होत नाहीं.



१ दूरदर्शन आ. ४५ २ अदूरदर्शन

नेत्ररचना

सबंध डोळा ही एक सुपारीएवढी गोटी आहे. या गोटीचें कवच पुढल्या अंगानें पारदर्शक असून तेवढाच भाग इतरापेक्षां अधिक फुगट आहे. कवचाच्या आंत सबंध गोटी बहुश: द्रवांनीं भरलेली आहे. किंबहुना नेत्रगोलक हा एक द्रव–गोलकच आहे म्हटलें तरी चालेल इतकें त्याचें कवच पातळ आहे. प्रकाशासंबंधीं विचार करतांना हें द्रव सरासरी पाण्याइतपतच दाट आहे असें म्हणतां येईल. कारण त्याचा परिवर्तगुणक १.३३७ आहे. पाण्याच्या थेंबांत किरण-शलाका शिरल्यानें ती शंकुरूप होते, तसं डोळ्यांतही घडतें. डोळ्यांत या द्रवाशिवाय दुसरें कांहीं नसतें तर, डोळ्यांतल्या

डोळ्यांतच या शंकूला टोक येण्याइतपत तो आखूड झाला नसता. त्याचा शेंडा डोळ्याबाहेर पडला असता. परंतु तो बरोबर डोळ्याच्या मागल्या तटावर पडतो, याचें कारण असें कीं मध्यंतरीं एक लवचीक व फुगट भिंग उभें आहे. हें भिंग भोवतालच्या पाण्याहून अधिक दाट असून, त्याची फुगवटी कमजास्त करण्याकरतां त्याच्या सभोंवार मांसवलय आहे. शिवाय हें भिंग आणि कवचापुढील पारदर्शक भाग, यासच आपण बुबुळ म्हणतों, यांच्यामध्यें एक पातळ वाटोळी खिडकी आहे. या खिडकीस दृष्टिमंडल म्हणतात. कांहीं आयास केल्यांवाचून डोळ्याच्या भिंगाची फुगवटी इतक्या बेताची राहते कीं, डोळ्यांत प्रवेश करणाऱ्या किरणशलाका शंकुरूप होऊन त्या शंकूंचीं टोकें बरोबर कवचाच्या मागल्या भागाला एक आस्तर असतें त्याजवर टेकतात. या आस्तराला 'दृक्पटल' म्हणतात.

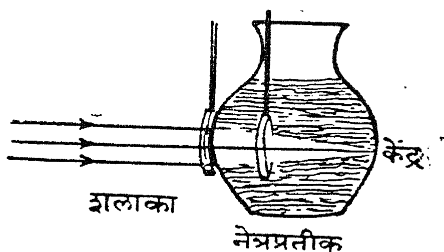
दृष्टिदोष

साधारण ६ चरण अंतरापर्यंत जवळ दृष्टि रोखण्यास नेत्रभिंगाची फुगवटी विशेष बदलावी लागत नाहीं; त्याहून जवळ दृष्टि रोखण्यास मात्र नेत्रभिंग फुगवावें लागतें. या कामाला आयास पडतात. वृद्धपणीं, भिंग कडक झाल्यानें म्हणा किंवा मांसवलय दुर्बल झाल्यानें म्हणा, हे आयास करण्याची शक्ति कमी होत जाते. म्हणून वृद्धांना जवळचें नीट दिसत नाहीं.

ज्या तरुणांना जवळचें नाहींच पण दूरचेंही नीट दिसत नाहीं त्यांच्या डोळ्यांतलें भिंग पुरेसें फुगट नसतें असें दिसून येतें; तसेंच ज्यांना जवळचें दिसतें पण दूरचें दिसत नाहीं त्यांच्या डोळ्यांतलें भिंग वाजवीपेक्षां अधिक फुगट असतें असें आढळतें; कारण डोळ्याशेजारीं अनुक्रमें फुगट व खोलगट भिंगें दिल्यानें या नेत्रदोषांचा परिहार होतो.

नेत्राचें अनुकरण

सुमारें चार इंच व्यासाची एक काचेची लोटी घ्यावी व तिच्यावर एका अंगानें किरणशलाका सोडावी. म्हणजे ती बहुशः जशीच्या तशीच बाहेर पडते. मग लोटींत पाणी भरावें. म्हणजे लोटींत किरणशंकु तयार होतो. या शंकूला लोटींत टोक येत नाहीं. मग लोटींत किरणमार्गांत एक काचेचें फुगट भिंग धरावें. त्याची फुगवटी योग्य तितकी असली म्हणजे, शंकूला लोटीच्या तटावरच



टोक आल्याचें आढळतें. तसें जर येत नसेल तर लोटीला टेकून दुसरें भिंग धरावें. अगोदर टोक मुळींच येत नसलें तर फुगट भिंग घ्यावें, व अगोदर पाण्यांतच मध्यंतरींच टोक येत असलें तर खोलगट भिंग घ्यावें. या भिंगाची फुगवटी किंवा खोलवटी योग्य तितकी करून घेतली म्हणजे शंकूचें टोक नेमकें लोटीच्या तटावर यतें. या तटाला पांढरें रोगण फासावें म्हणजे शंकूचें टोक पुढील अंगानें देखील चांगलें दिसून येईल.

प्रश्नावलि

भावनी नेत्र आणि निकाशकोटर यांत साम्य-वैषम्य कोणकोणतें असतें ?

डोळ्याच्या वर्तनाचें अनुकरण कसें साधावें ?

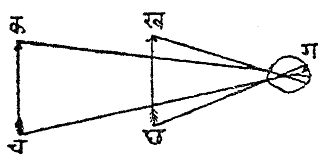
———

प्रकरण १३

दृष्टिविकास

आपल्या दृष्टीला कांहीं स्वाभाविक मर्यादा आहेत. कांहीं पदार्थांपासून पुरेसा उजेड येत नाहीं म्हणून ते आपणाला दिसत नाहींत, परंतु कांहीं पदार्थ फार बारीक म्हणून दिसत नाहींत. तर कांहीं फार दूर म्हणून दिसत नाहींत. या मर्यादा ओलांडाव्या, दूरचें दृश्य जवळ आल्यासारखें दिसावें, जवळचें पण बारीकसें दृश्य मोठें दिसावें, त्याचे विभाग अलग अलग ओळखूं यावेत, असें किती तरी प्रसंगीं वाटतें पण तें साधावें कसें ?

दोन बिंदू एकामेकांपासून तुटक दिसण्याकरतां त्या दोन बिंदूंपासून डोळ्यांपर्यंत गेलेल्या दोन किरणशंकूंमध्यें एक कोन झाला पाहिजे. हा कोन जितका मोठा तितका तुटकपणा अधिक हें उघड आहे. किरणशंकूमध्यें किरण अनेक असतात; परंतु शंकूशंकूंतला कोन सांगण्याकरतां शंकूंच्या अक्षा–अक्षांतला कोन सांगणें अवश्य आहे. येथील

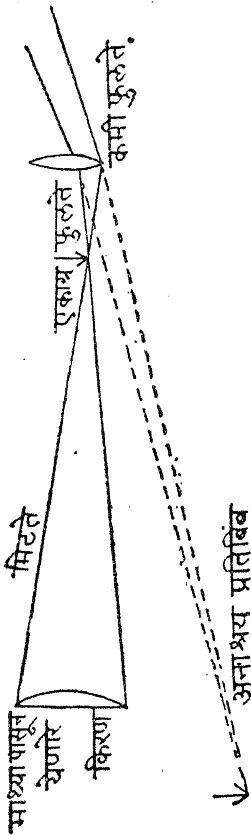


आ. ४७

आकृतीमध्यें डोळ्यांत जाणाऱ्या किरणशंकूंच्या फक्त अक्षरेषाच दर्शवल्या आहेत त्या एवढ्यासाठींच. या रेषांमधील कोन तो दर्शनकोन होय. दर्शनकोन वाढवण्याकरतां भिंगाची योजना करून दोन प्रकारचीं दार्शनिक साधनें केलेलीं असतात. कांहीं साधनें दूरचे पदार्थ पाहाण्याकरतां केलेलीं असतात त्यांना दूरादर्श म्हणावें. कांहीं जवळचे सूक्ष्म पदार्थ पाहाण्याकरतां केलेलीं असतात त्यांना सूक्ष्मादर्श म्हणावें.

दूरादर्श (दुर्बिण)

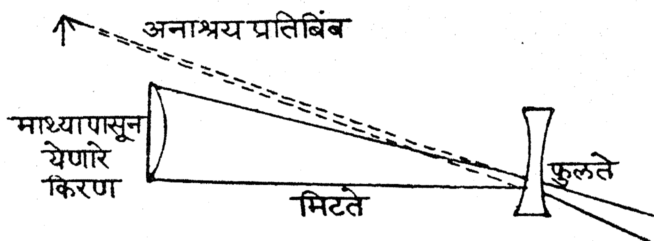
निकाशकोटर हा एक दूरादर्शच आहे म्हटलें तरी चालेल, कारण तो दूरचे देखाव पाटीवर उमटून दाखवतो. परंतु जेव्हांच्या तेव्हां दूरचें दृश्य जवळ प्रतिबिंबित करण्याकरितां म्हणून मुद्दाम ज्याची योजना त्यासच दूरादर्श म्हणण्याचा प्रघात आहे. निकाशकोटराच्या पुढील दारांत असतें तसेंच दूरादर्शाच्या पुढील दारांतही फुगट भिंग असतें. निकाशकोटरांत दृश्यावरून आलेले किरण एकाग्र होतात तसेच ते दूरादर्शांतही होतात. निकाशकोटरांतील निकाशपट्टीवर दृश्याचें प्रतिबिंब घेतात पण तशी पट्टी दूरादर्शांत ठेवलेलीच नसते. दृश्याचें साश्रय प्रतिबिंब घेऊन तें आणखी विकसित करण्याकरितां त्याच्या मागें एक विकासक फुगट भिंग मात्र ठेवलेलें असतें. या भिंगाशीं डोळा लावून प्रेक्षक दृश्य पाहात असतो. त्याला पहिल्या साश्रय प्रतिबिंबाचें विकसित पण अनाश्रय प्रतिबिंब दृष्टीस पडतें. साहजिकच या प्रतिबिंबांत तळमाथ्याचा विपर्यास झालेला असतो.



आ. ४८

सूर्य, चंद्र किंवा तारका यांचे वेध घेतांना त्यांच्या तळमाथ्यांची

उलटापालट दिसली तर विशेष कांहीं बिघडत नाहीं, पण पृथ्वीवरचीं घरें, माणसें, झाडें इत्यादि दृश्यें जर अशीं पर्यस्त दिसूं लागलीं तर विचित्रच देखावे भासतील. म्हणून पृथ्वीवरील देखावे पाहण्यास ज्या दुर्बिणी वापरावयाच्या त्यांत निराळीच योजना करतात. विशेष लोकप्रिय झालेली दुनेत्री म्हणून जी दुर्बिण वापरतात तिजमध्यें पुढील दारीं फुगट भिंग पण मागील दारीं खोलगट भिंग असतें. पुढील फुगट भिंगांतून आलेले किरण



आ. ४९

एकाग्र होणापूर्वींच त्यांच्या मार्गांत हें खोलगट भिंग येतें. या भिंगांतून ते किरण पुनः फुलून जातात; परंतु ही फुलावट इतकी मोठी असते कीं तिजमुळें दृश्याचें एक अनाश्रय व अपर्यस्त प्रतिबिंब जवळच दृष्टीस पडतें. दोनही डोळ्यासमोर एकदम देखावा उभा करण्याकरितां अशा दुर्बिणी दुनेत्री स्वरूपाच्या करतात.

सूक्ष्मादर्श

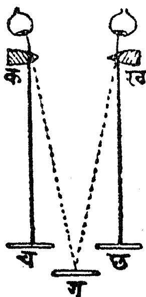
भिंगाच्या साहाय्यानें दूरचे देखावे जवळ आणतां येतात. जवळ आणल्यामुळें ते आपल्या दृष्टीला विकास पावलेले दिसतात. मुळांत जवळ असलेलें दृश्यसुद्धां पुष्कळ पटीनें विकासित करून घेण्याला भिंगांचा उपयोग होतो. चित्रपट दाखविण्याचा प्रदर्श हा

या अर्थानें सूक्ष्मादर्शच असतो. मूळचीं चित्रें सूक्ष्म असतात. त्यांचा केवढा तरी विकास पडद्यावर झालेला दिसतो! प्रदर्श हा मोठ्या समाजाच्या सोयीचा सूक्ष्मादर्शच आहे म्हटलें तरी चालेल. व्यक्तिशः उपयोग करण्याकरतां लहान लहान सूक्ष्मादर्श असतात. या सूक्ष्मादर्शांत पडदा नसतो. पडद्याच्या जागीं प्रतिबिंब उमटतें. त्यापलीकडे प्रेक्षक दृष्टिसंधान करून बसलेला असतो. या प्रतिबिंबाचा आणखी विकास करण्याकरितां त्यानें आपल्या नेत्राजवळ एक फुगट भिंग ठेवलेलें असतें. पहिलें प्रतिबिंब नेत्राजवळच्या भिंगापासून त्याच्या मुख्य केंद्रापेक्षां जवळ असतें म्हणून त्याचें अनाश्रय पण विकसित प्रतिबिंब दृष्टीस पडतें.

चित्रप्रदर्श आणि सूक्ष्मादर्श यांत साम्य आहे तसें वैषम्यही आहे. चित्रप्रदर्शाच्या कोठडींत शेंकडों प्रेक्षक बसतात, पण सूक्ष्मादर्शाच्या कोठडींत दृश्याच्या प्रतिबिंबापुरतीच काय ती जागा असते. हीं कोठडी म्हणजे एक केवळ वीतभर नळी असून तिच्या दोहीं टोकांस भिंगें बसवलेलीं असतात.

मूर्तादर्श

लांबी, रुंदी, जाडी असलेली मूर्ति आणि त्या मूर्तीचें एकाद्या कागदावर किंवा सपाट भिंतीवर काढलेलें चित्र यांत कांहीं साम्य असतें. पण कांहीं भेदही असतो हें उघड आहे. चित्रांत फक्त लांबी रुंदी किंवा लांबी जाडी अशीं दोनच मापें यथातथ्य उठवतां येतात, राहिलेल्या तिसऱ्या मापाची कल्पना मुख्यतः छायाप्रकाशाच्या योगानेंच दाखविणें भाग असतें. प्रत्यक्ष मूर्तीकडे पाहतांना गोष्ट निराळी असते ती अशी.



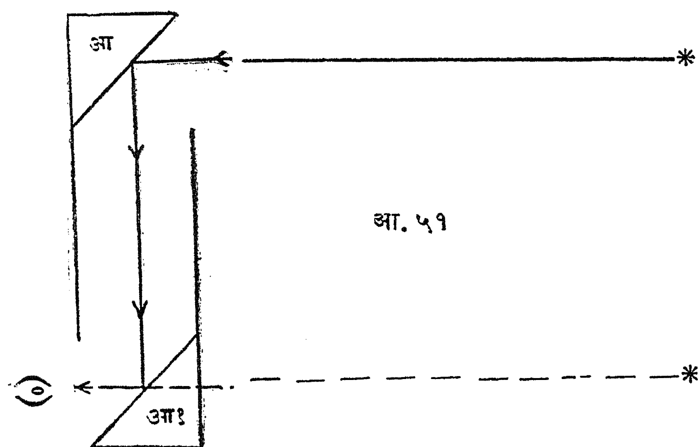
आ. ५०

आपल्या दोन डोळ्यांत अंतर अवघें अडीच इंचांचें आहे, परंतु तेवढ्यानें दोन डोळ्यांनीं दिसणाऱ्या दृश्याच्या दर्शनांमध्यें फरक पडतो. हा फरक चित्राच्या योगानें उत्पन्न करणें असल्यास दोन निरनिराळीं चित्रें काढावीं लागतील. पण हीं दोन चित्रें समोर मांडून, उजवें दर्शन उजव्या डोळ्यांत आणि डावें डाव्या डोळ्यांत उत्पन्न करतां आलें, तर मात्र चित्राला मूर्तत्व दिल्यासारखें होईल. एकाच मूर्तीचे अडीच इंचांच्या अंतरावरून दोन निकाश घेणें यांत कांहींच अवघड नाहीं. असे निकाश केल्यानंतर ते समोर मांडून एकेका डोळ्याला एकेक असे दोनही एकदम दिसावेत एवढ्याकरतां जें साधन तयार करतात त्याला मूर्तादर्श म्हणतात. सामान्यतः पांचपन्नास हातांवर असलेल्या मूर्तींचींच चित्रें घेतात तीं वीत दीड वीत अंतरावरून पहावयाचीं असतात. दोन चित्रांच्या मधोमध नाकासमोर एक आडोसा उभा करतात. डोळ्याची साहजिक प्रवृत्ति एका कोणत्या तरी चित्राकडे पाहण्याची असते. ती या आडोशानें नाहींशी होऊन डोळे दोही चित्रांच्या मध्यंतरीं रोखले जातात. डाव्या उजव्या अंगचीं चित्रें डाव्या उजव्या डोळ्यांतच प्रतिबिंबित व्हावीं म्हणून दोनही डोळ्यांपुढें त्रिधारींची मांडणी केलेली असते. या योजनेमुळें डोळ्यांना मूर्तत्वाचा प्रत्यय येतो.

परितोदर्श

दूरादर्श किंवा सूक्ष्मादर्श वापरतांना नेत्रासमोर दृश्य असावें लागतें. परंतु दृश्य नेत्रासमोर नसलें तरी देखील कांहीं युक्तीनें तें दिसूं शकतें. त्याकरतां आरसे वापरावे लागतात. मोटारींतला सारथी आपणांपुढें एक आरसा ठेवतो त्यांत मागून येणाऱ्या गाड्या, माणसें व इतर दृश्यें दिसतात. जहाजाचा नायक जहाजांत बसून सभोंवारचें दृश्य पाहूं शकतो. याकरतां जें साधन वापरतात त्यास

'परितोदर्शी' असें नांव दिलें आहे. या साधनांत दोन आरसे आणि मध्यंतरीं दुर्बिणींतल्याप्रमाणें भिंगें वापरलेलीं असतात. हे आरसे टिकाऊ असावेत म्हणून, रुपेरलेल्या काचा न वापरतां, काटकोनी त्रिधार (लोलक) वापरतात. (पृ. ४२ आ. २९)



आ. ५१

इतिहास

पहिला दूरादर्शी लिपरशे नांवाच्या एका कल्पकानें तयार केला. परंतु त्याला फारशी प्रसिद्धि मिळाली नाहीं. १६०९ मध्यें ग्यालीलिओनें एक दूरादर्शी केला. त्याची मात्र झपाट्यानें प्रसिद्धि झाली. ग्यालिलिअन दूरादर्शीत दृश्याकडे फुगट भिंग आणि डोळ्यापाशीं खोलगट भिंग अशी रचना असे. हल्लीं दुनेत्रीमध्यें हीच रचना रूढ आहे. ग्यालीलिओनंतर ग्रेगोरिअन दूरादर्शी प्रचारांत आले. या साधनांत दोनही टोकांचीं भिंगें फुगट स्वरूपाचींच असत.

साध्या एकेरी भिंगांत शुभ्र प्रकाशांतलि रंग पसरून देण्याचा जो गुण आहे त्यामुळें प्रतिबिंबें पुसकट होतात. हा दोष न्यूटन

याच्या ध्यानांत आला म्हणून त्यानें दृश्याकडील भिंग वापरण्याचें सोडून दिलें, आणि नळीच्या पुढल्या तोंडीं भिंग बसवण्याऐवजीं मागल्या टोकाला एक खोलगट आरसा बसवला. या आरशानें येणाऱ्या साश्रय प्रतिबिंबावर डोळ्याजवळचें फुगट भिंग रोखावयाचें, अशी त्यानें योजना केली.

एकाच प्रकारच्या काचेचें एकेरी एक भिंग करण्याऐवजीं अनेक पाकळ्यांचें भिंग घ्यावें आणि प्रत्येक पाकळी वेगळ्या वेगळ्या प्रकारच्या काचेची असावी. पाकळ्यांची जाडी, वक्रता, अन्तरें, इत्यादि यथायोग्य करून घ्यावींत म्हणजे एकंदर जोडभिंग निर्दोष होऊं शकतें. सर्व चांगल्या दार्शनिक साधनांत जीं भिंगें हल्लीं वापरण्यांत येतात तीं अशा रीतीनें निर्दोष करून घेतात. (आ. ४२)

येथें वर्णिलीं आहेत त्याशिवाय आणखीं कितीतरी दार्शनिक साधनें आज उपलब्ध आहेत ! शास्त्रज्ञ, गाणिती आणि कलावन्त यांच्या परिश्रमानें मानवी दृष्टीचा केवढा तरी विकास आज झाला आहे बरें ?

प्रश्नावलि

(१) निकाशटोटर व दूरादर्श आणि चित्रप्रदर्श व सूक्ष्मादर्श यांच्यांतील भिंगांच्या रचनेंत कमीअधिकपणा कोणता असतो ?

(२) परितोदर्शांत आरशाची मांडणी कशी असते ?

(३) मूर्तादर्शाची रचना कशी करतात ?

(४) एका भिंगापासून ०.१ वर असलेल्या बिंबाचें प्रतिबिंब पलीकडे ६ चरणावर उमटतें. त्या भिंगाचा प्रभाव किती ?

(५) +४ प्रभावाच्या एका भिंगापासून $\frac{1}{2}$ चरण अंतरावर बिंब आहे त्याचें प्रतिबिंब कोठें पडेल ?

ध्वनिविज्ञान



प्रकरण १

ध्वनतरंग

। कानांनीं आपणास जें ज्ञान होतें त्यास ध्वनि म्हण-
न ज्या बाह्य गोष्टीमुळें उत्पन्न होतें त्यासही ध्वनि
परंतु संवेदना आणि तिचें बाह्य कारण यांमधील भेद
रतां या बाह्य कारणास 'ध्वन' असें निराळें नांव द्यावें.
घंटा वाजते तेव्हां घंटेचा घट थरथरत असतो. त्याच-
द्या तंतुवाद्यांतून आवाज निघत असतांना त्याचा तंतु
गतो. सूरपेटी वाजत असतांना सुरपट्ट्या थरथरत अस-
तबला वाजत असतां त्याचा वरचा भाग हालत असतो
शंका नाहीं. वाद्याची ही हालचाल कानाला कशी
असा साहजिकच प्रश्न उत्पन्न होतो. केवळ पोकळी
ध्वन इकडून तिकडे जाऊं शकत नाहीं. त्याला मध्यस्थ
अपेक्षा असते. एखाद्या हवा काढून घेतलेल्या भांड्यांत
ठेविली आणि आंतल्या आंत हवी तेवढी ठोकली तरी
ऐ येत नाहीं. परंतु बाहेरची हवा आंत जाऊं देण्याचा
ीं आला आवाज कानावर असें अनुभवास येतें. बहुधा
तून ध्वनि ऐकतो. तथापि पाणी, कांच इत्यादि जिन-
वन पसरूं शकतो.

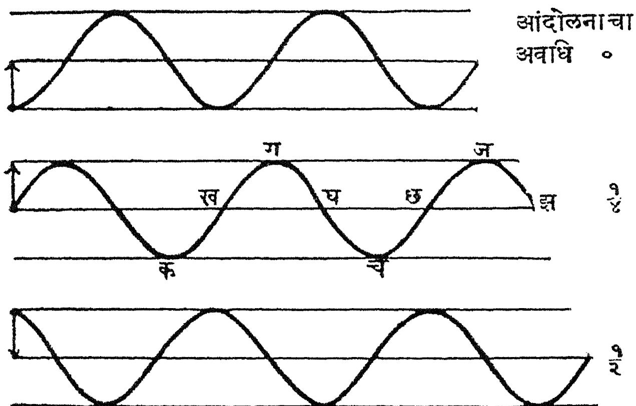
ध्वनवेग

द्वेंतून सभोंवार पसरण्याला कांहीं काळ लागतो हें

तेव्हांच ध्यानांत येण्यासारखें आहे. विहिरींत, गुहेंत किंवा एकाद्या मोठ्या मंदिरांतहि आपल्या शब्दाला प्रतिशब्द उत्पन्न होतो व तो स्पष्टपणें शब्दाच्या मागून ऐकूं येतो. समोरच्या अडथळ्यावरून परत येण्याला एवढा वेळ लागतो असें म्हटलें पाहिजे. समजा एका भिंतीसमोर १६५ चरण अंतरावर आपण एक बंदूक उडविली तर बंदुकीचा मूळ बार ऐकल्यानंतर एका विपळानें त्याचा प्रतिबार ऐकूं येतो. हवेमध्यें ध्वन प्रसरण्याचा वेग विपळास ३३० चरण (सेकंदास ११०० फूट) आहे. असें यावरून सिद्ध होतें. ध्वनिवेगाचें साक्षात् माप परावर्तनावांचूनही करणें सोपें आहे. एकादा मोठा आवाज, वाफेच्या शिट्टीचा किंवा तोफेचा, नेमक्या वेळीं काढावा, आणि चार-दोन मैलांवर तो केव्हां ऐकूं येतो तें पाहावें म्हणजे झालें.

पाणतरंग

एकाद्या हौदाचें पाणी संथ असतांना मध्येंच एक खडा टाकावा



आकृति १

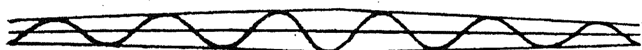
आणि पाहावें काय मौज होते ती. खड्याच्या धक्क्यानें तेथील पाणी कांहींसें खालीं दबतें आणि किंचित् वेळानें उसळून वर येतें. परंतु तें आपल्या पहिल्या जागीं येऊन थांबत नाहीं, तर एकाद्या लंबकाप्रमाणें आणखी वर उसळतें. प्रथम तें जितकें खालीं जातें तितकेंच तें आतां वर येतें; परंतु तसें होतांच त्याची उशी संपून तें खालीं पडतें. पडतां पडतां तें आणखी एकदां आरंभस्थानीं येतें, पण तेथें त्याचा हेलकावा फार जोरांत असतो. यासरशीं तें आणखी खालीं जातें. याप्रमाणें आरंभस्थानीं दुसऱ्यांदा आल्यानें एक हेलकावा पुरा होऊन दुसरा सुरूं झाला असें म्हणावें. दुसऱ्या हेलकाव्याचा पल्ला पहिल्यापेक्षां किंचित् कमी असतो, तिसऱ्याचा त्याहून कमी, चवथ्याचा त्याहून कमी; असें होतां होतां पांच पन्नास हेलकाव्यानंतर पल्ला शून्य होऊन जातो म्हणजेच पाणी स्थिरावतें.

खडा ज्या ठिकाणीं टाकला तेथल्याच जागेंतल्या पाण्याकडे लक्ष्य दिलें असलें तरी देखील त्या सभोंवारचें पाणी कांहीं विशेष प्रकारें हालचाल करीत आहे ही गोष्ट दृष्टीआड होऊं शकत नाहीं. अगदीं थोड्या वेळांत हौदांतलें सर्व पाणी जेथल्या तेथें आरंभ-स्थानापासून विशेष दूर न जातां खालवर नाचत आहे असें दिसतें. पाण्याच्या या हालचालीचा एकंदर देखावा फार मनोहर असतो. आरंभस्थानाच्या सभोंवार पाण्याच्या रेणूंनीं अगदीं रेखीव वाटोळे घेर धरलेले दिसून येतात. घेरांतले सर्व रेणू अगदीं एकसाथ नाच करीत असतात. सबंध घेरच्या घेर खालीं दबतो, वर उसळतो, असा क्रम चालू असतो. पाण्याच्या या रेणूंमध्यें अप्रतिम नियमित-पणा दिसून येतो. एका घेरांतले सर्व रेणू अगदीं खांद्याला खांदा लावून असतात खरे, परंतु एक सबंध घेरच्या घेर त्या लगतच्या दोनहि घेरांच्यापेक्षां किंचित् कमी किंवा अधिक उंचीवर असतो.

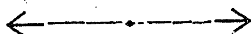
सर्व घेर मिळून जो देखावा उत्पन्न होतो त्यांत पाण्याचें पृष्ठ उंचवटा आणि खोलवटा यांनींच व्यापलेलें दिसतें.

तरंगविशेष

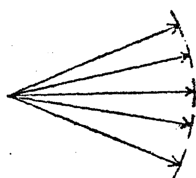
प्रस्तुत हालचालीचा एक विशेष असा दिसतो कीं, उंचवट्यांची उंची आणि खोलवट्यांची खोली आरंभस्थानापासून सभोवार एकाच



आकृति २



मानानें कमी कमी होत गेलेली असते. असें असूनहि दोन शेजारशेजारचे उंचवटे किंवा शेजारशेजारचे खोलवटे यांतलें अंतर सर्वत्र एकच्याएक नियत असतें. खरोखरी पाण्याच्या रेणूंची हालचाल खालवरच असते; परंतु संकलित दृष्ट्या असें दिसतें कीं, मध्यबिंदूतून वर्तुळें उमलून निघत असून तींच परिसरापर्यंत पसरत पसरत जात आहेत. ही जी रेषा



आकृति ३

पसरतांना दिसते तिलाच तरंग असें नांव आहे. तरंगाला अगणित मुखें असतात. हीं मुखें पुढें पुढें सरकत असतात. सरकतांना त्यांची चर्या क्रमशः बदलत असते हें उघडच आहे. उदाहरणार्थ, आ. १ मध्यें क ख ग घ हे सर्व बिंदू वेगवेगळ्या चर्येंचे आहेत. परंतु क च, ख छ, ग ज, घ झ यांपैकीं कोणत्याहि जोडींतले बिंदू एकाच चर्येंचे आहेत. ठोकळ मानानें बोलतांना धन ऋण (टेंगूळ खड्डा) अशा दोनच चर्या असेंहि म्हणण्याचा प्रघात आहे. एक टेंगूळ आणि एक खड्डा मिळून एक लाट होते.

एक चर्या जाऊन पुनः तीच येईपर्यंत जें अंतर तरंग-मुखास आक्रमावें लागतें त्यास लाटलांबी किंवा तरंगायाम म्हणतात. एका लांबींत नेमका एक खड्डा आणि एक टेंगूळ यांचा समावेश होतो.

पाण्यांत खडा टाकल्याबरोबर तरंग उत्पन्न होतो आणि तो सभोंवार पसरतो. अनेक मुखांपैकीं कोणतेंही एक तरंगमुख आरंभापासून कडेपर्यंत पाहात गेलों असतां तरंगप्रसाराचा वेग आपल्याला कळून येईल. तरंगमुखानें विपळा-गणिक आक्रमलेलें जें अंतर तो तरंगवेग झाला. तरंगाचा वेग आणि आयाम या दोन गोष्टी समजल्या म्हणजे तिसरी एक गोष्ट त्यावरूनच समजते. ती म्हणजे प्रत्येक रेणूला विपळागणिक बसलेल्या हेलकाव्यांची संख्या ही होय. यास 'तरंगाची क्षिप्रता' असें म्हणतात. एखाद्या तरंगाचा आयाम एक अंगुळ किंवा इंच असला आणि वेग विपळास सहा अंगुळें असा असला तर गणितावरून आपणांस समजतें कीं, त्यांतील झोके किंवा हेलकावे खाणाऱ्या व्यक्ति दर एक विपळांत सहा हेलकावे खात असतात. व्यक्तीचा एक हेलकावा पुरा होईपर्यंत तरंग एका आयामाइतकी चाल करतो. तरंगाचा आयाम १, वेग ६, आणि क्षिप्रता ६ ÷ १ = ६ असें सांगण्याची वहिवाट आहे.

$$\frac{\text{वेग}}{\text{आयाम}} = \text{क्षिप्रता.} \quad \text{वेग} = \text{आयाम} \times \text{क्षिप्रता.}$$

वायुतरंग

एकादें वाद्य वाजविलें म्हणजे त्याचा ध्वन सभोंवार पसरतो हें उघडच आहे. वाद्यापासून आरंभ करून कोणत्याही एका दिशेंत आपण दूर जाऊं लागलों तर आपल्याला ऐकूं येतो तो ध्वनि क्रमशः लहान होतां होतां कांहीं अंतरावर मुळींच ऐकूं येईनासा होतो.

पूर्व, पश्चिम, दक्षिण, उत्तर किंवा त्यांमधल्या कोणत्याही दिशेस गेलों असतां तोच अनुभव येतो. इतकेंच नव्हे तर तेथून खालीं, वर किंवा त्यामधल्या कोणत्याही दिशेस प्रवास केला असतांही तसाच अनुभव येतो. ध्वन दाही दिशांस सभोंवार पसरतो. उगमापासून ध्वन सभोंवार जसजसा पसरतो तसतसा तो अधिकाधिक लहान होत जातो, किंवा त्याची ' महत्ता ' कमी कमी होत जाते असेंही म्हटलें तरी चालेल. दिव्यापासून उगम पावून प्रकाश दशदिशांस पसरतो आणि तोही अंतर वाढेल तसतसा अंधुक अंधुक होत जातो. त्यांतलाच हा एक प्रकार समजावयाचा.

तरंगाची महत्ता दूरतेच्या व्यस्त-वर्ग-प्रमाणांत असते.

पाणतरंगाचा दृष्टान्त मनांत आणला म्हणजे वायूमध्येंही वाद्यांच्या योगानें तरंग उत्पन्न होत असतील अशी सहजच कल्पना येते. ध्वनतरंगांचीं सर्व मुखें मिळून एक गोल तयार होतो आणि

वायूरेणू गायन्त्र वायुरेणू

.................◁....................

दाट विरळ

.................◁....................

दाट विरळ

.................◁....................

दाट विरळ दाट विरळ

.................◁....................

दाट विरळ दाट विरळ

.................◁....................

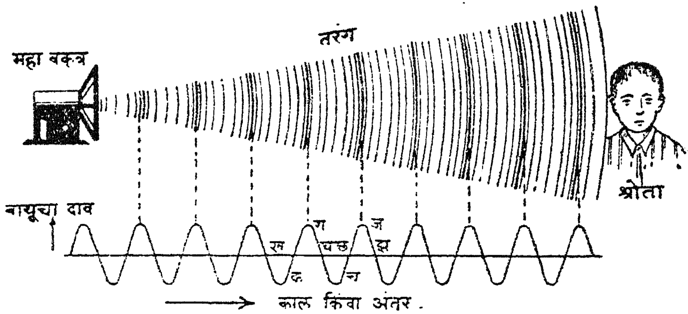
दाट विरळ दाट विरळ दाट विरळ

.................◁....................

←—तरंगायाम—→

(आ० ४)

हा गोल फुगत फुगत जातो. पाणतरंग आणि ध्वनतरंग यांत भेद आहे तो हा कीं, पाणतरंगामध्यें चळवळणाऱ्या व्यक्ती उभ्या हालत असतात आणि तरंगमुखें मात्र आडवी चाल करीत असतात; परंतु ध्वनतरंगामध्यें चळवळणाऱ्या व्यक्ति ज्या रेषेंत हालत असतात त्याच रेषांमध्यें तरंगमुखेंही चाल करीत असतात. त्यामुळें एका गोल घेरांत वायुरेणू दाटलेले तर एकांत पांगलेले असतात. अशा या दाटी-विरळाईमुळें दाबांत जे फरक पडतात ते मोजतां



आकृति ५

यतात. त्यावरून या तरंगांच्या अस्तित्वाची साक्ष पटते. या दाबाचे फरक फार थोडे असतात हें खरें आहे; परंतु ते असतात हीच गोष्ट येथें मुद्द्याची आहे. ज्यांतून ध्वनतरंग चालले आहेत अशा वायूचा निकाश घेण्याची एक विशेष युक्ति आज साधलेली आहे. तिचा उपयोग केला असतां निकाशामध्यें या तरंगाचें चित्र उमटूं शकतें आणि त्यावरून तरंगाचे आयाम प्रत्यक्ष मोजून घेतां येतात. (निकाश = फोटोग्राफ)

ध्वनतरंगाचा आयाम (लाटलांबी) मोजण्यापेक्षां त्याची क्षिप्रता मोजणें अधिक सोपें आहे. वाद्याला कंप किती झपाट्यानें

सुटतात हें सहज मोजता येतें. प्रत्येक कंपनानें हवेला एकेक धक्का बसतो आणि या कंपनाच्याच साथीनें वायुरेणू हालत असतात असें सहजच अनुमान होतें. वाद्याची क्षिप्रता (झपाटा) तीच त्यानें उत्पन्न केलेल्या वायुतरंगाची क्षिप्रता असें गृहीत धरल्यास साध्या हिशोबानें त्या तरंगाचा आयाम समजतो. क्षिप्रता बदलली तरी ध्वनवेग बदलत नाहीं असा अनुभव येतो. म्हणून ध्वनतरंगाचें वर्णन करणें झाल्यास त्याची क्षिप्रता सांगितली म्हणजे पुरे.

एखादा आवाज उंचा किंवा चढा आहे आणि एकादा निंचा किंवा ढाला आहे असें आपण म्हणतों. हा आवाजाचा उंचनिंच-पणा त्याच्या क्षिप्रतेवर अवलंबून असतो. आवाज जितका अधिक उंचा तितकी त्याच्या तरंगाची क्षिप्रता अधिक असते. तरंगाचा आयाम (लाटेची लांबी) मोठा म्हणजे क्षिप्रता कमी आणि आयाम लहान म्हणजे क्षिप्रता मोठी असें ओघानेंच ठरतें.

(१) विपळास २० ते २०,००० क्षिप्रतेचे तरंग कानाला कळतात, इतर कळत नाहींत. (विपळ = सेकंद)

(२) विपळास ५०० ते ४००० पर्यंत तरंग उत्तम कळतात.

(३) विपळास १०० ते ८००० पर्यंत सूर आपण उच्चारतों.

ध्वनवेगः—	पाण्यामध्यें	विपळागणिक १५०० चरण (मीटर)
....	मेणामध्यें	७००
...	लांकडामध्यें	३००० ते ४०००
....	कांचेमध्यें	५०००
...	लोहामध्यें	५१००

प्रकरण २.

ध्वनिप्रकार

जगांत वावरतांना जे ध्वनी आपल्या कानीं पडतात ते नाना प्रकारचे असतात, हें कांहीं कोणास सांगावयास पाहिजे असें नाहीं. ध्वनि लहान मोठा असे तर भेद आहेतच; पण त्यांतल्या त्यांत सुद्धां कोमल-कर्कश, सरस-नीरस, मधुर-कटु, इत्यादि प्रकारही समजून येतात. ध्वनि हा वायूमध्यें उसळणाऱ्या तरंगांचा कानावर होणारा परिणाम आहे हें समजलें म्हणजे, हे विविध ध्वनि कानावर आणणारे तरंग कोणत्या प्रकारें एकामेकांहून वेगळे असतात असा साहजिकच प्रश्न उद्भवतो. या प्रश्नाला कोणतें उत्तर आहे तेंच प्रस्तुत प्रकरणीं पाहावयाचें आहे.

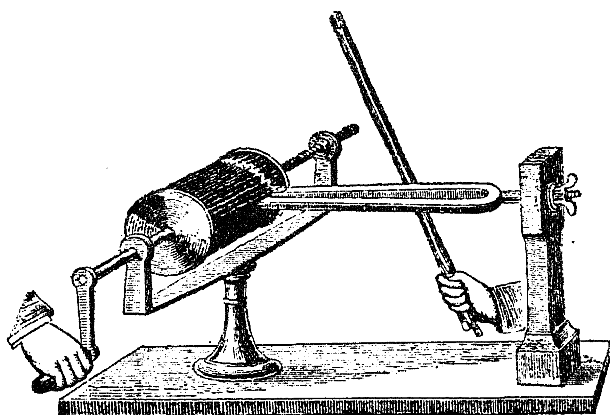
ध्वनींचे दोन प्रकार तर स्पष्ट आहेत. एक सूर व दुसरा बेसूर. गायनाचे आलाप हे सूर आणि कलकलाट गोंगाट हे बेसूर होत. गाइलेला सूर हा नियमित आघातांचा परिणाम आहे आणि गोंगाट हा अनियमित आघातांचा परिणाम आहे हें उघड आहे.

घड्याळाची टिक् टिक् आपण ऐकतों ती अगदीं नियमित असते. अगदीं नेमक्या कालावधीनें हवेला एक एक धक्का दिला जातो. हे धक्के विपळांत दोनपक्षां अधिक नसतात. आपल्याला ते स्पष्टपणें पृथक् पृथक् ऐकूं येतात. म्हणून आपण त्याचें टिक् टिक् असें श्रवानुसारी वर्णन करतों. घड्याळांतल्या प्रत्येक टिक्बरोबर हवेंतील वायुरेणूंना एकेक धक्का बसत जातो. प्रत्येक धक्क्यानें त्यांमध्यें एकेक तरंग उसळत असतो; पण तो दुसरा धक्का बसण्याच्या अगोदरच मरून जातो. विपळांत दोन टिक् होतात, तेव्हां प्रत्येक टिक्मध्यें पडलेला खंड स्पष्टपणें समजून येतो. प्रत्येक आघाताचा

परिणाम अर्ध विपळ देखील टिकत नाहीं, झपाट्यानें नाहींसा होऊन जातो. असे ठोके एकेका विपळांत १५, २० झाले तरी सुद्धां ते तुटकपणें कळून येतात. या ध्वनप्रकाराला ' स्फोट ' असें नांव योजिलें आहे. (विपळ = सेकंद)

सूर

एखादा शसनाकरतां वापरण्याचा चिमटा झटकला तर तो थरथरूं लागतो आणि तो कानासमोर जवळच धरला तर एक सूर ऐकूं येतो. चिमटा झटकून सोडल्याबरोबर त्याचीं ठोकें हालूं लागतात तें आरंभीं आपल्याला दिसतें पण फार थोडा वेळ. नंतर ती हाल-



आकृति ६

चाल न दिसतां जणूं टोंकेंच रुंदावलीं आहेत असें दिसतें. कारण उघडच आहे कीं डोळ्याला इतक्या झपाट्याचे कंप वेगवेगळे ओळखत नाहींत, तर ज्या कक्षेमध्यें टोंकें हालत असतात त्या कक्षेभर तीं पसरून राहिलीं आहेत असें दिसतें. तथापि स्पर्शानें हें कळून येऊं

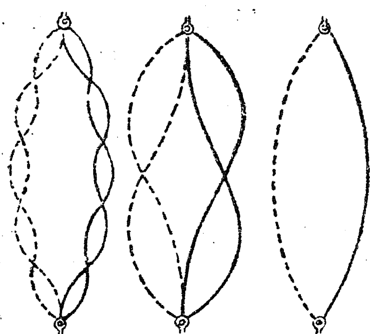
शकतें कीं हीं टोकें अति क्षिप्रतेनें (झपाट्यानें) हालत आहेत. अशा थरथरणाऱ्या पदार्थाची क्षिप्रता नेमकी मोजून काढतां येते. थरारणाऱ्या टोंकाला एक हल्कीशी काडी चिकटवावयाची आणि त्या काडीचें टोंक पट्टीवर टेकतें राहील अशा बेतानें एक काजळी पट्टी सतत वेगानें सरकत ठेवावयाची; म्हणजे या काजळीमध्यें एक रेखाटी उठते. या रेखाटीवरून कंपनाची क्षिप्रता आणि कक्षा दोनही कळून येतात. नेमक्या क्षिप्रतेचे सूर काढण्याकरतां मुद्दाम सूरकाटे म्हणून तयार करतात. त्यांजवर त्यांच्या क्षिप्रतेचा अंक कोरलेला असतो. विपळास २० पेक्षां अधिक क्षिप्रतेनें ध्वनतरंग उत्पन्न झाले म्हणजे त्यामुळें सुराची संवेदना उत्पन्न होते.

सूर हा नियमित कालांतरानें बसणाऱ्या आघातांचा परिणाम आहे.

एकाद्या तंतुवाद्याची तार झटकली असतां एक सूर ऐकूं येतो. तो सूरकाट्याच्या सुरापेक्षां खात्रीनें अधिक गोड असतो. ही गोडी कशानें उत्पन्न होते? प्रत्येक खाद्याला अंगची कांहीं रुचि असते. अनेक प्रकारचीं खाद्यें एकत्र करून कांहीं विशेष रुचि उत्पन्न होते तशीच अनेक श्राव्यें एकत्र करून कांहीं विशेष रुचि उत्पन्न होते. विशेष रुचकर सूर ज्यांतून निघत आहेत असा तंतु निरखून पाहिला तर, जे कंप चालू असतात ते मिश्र स्वरूपाचे असतात असें दिसून येतें. झटकलेला तंतु अखंडपणें आणि खंडशः अशा दोन्ही प्रकारें एकदम कंप पावत असतो. असे एकवट कंप सुटले म्हणजे मिश्र सूर उत्पन्न होतो. अशा मिश्र सुरालाच विशेष रुचि असते.

मिश्र सुरामध्यें एक मूळ स्वन आणि बाकीचे उपस्वन असतात.

हें उघडच आहे. सबंध तंतु अखंडपणें कंपमान असला म्हणजे



त्याची एक क्षिप्रता असते. तोच द्विखंडपणें कंपमान असतांना क्षिप्रता दुप्पट होते. अखंड आणि द्विखंड कंपनें एकदम चालू असलीं म्हणजे एकपट आणि दुप्पट क्षिप्रतेचे सूर एकदम चालू राहतात.

(आ. ७)

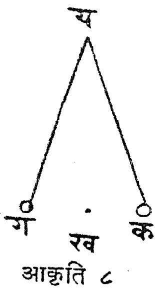
स्वन आणि उपस्वन यांची क्षिप्रता १, २, ३, ४ इ० पूर्णांक प्रमाणांत असली म्हणजे त्यांचा मेळ बरोबर बसतो व कानाला त्यामुळें आनंद होतो.

जो सूर एकस्वनात्मक असतो, ज्यांत उपस्वनांची वगैरे मिसळ नसते तो 'शुद्धसूर' म्हणतात; आणि ज्या सुरांत स्वनांबरोबर उपस्वनही मिसळलेले असतात त्यास ' मिश्रसूर ' म्हणतात. गायन-वादनामध्यें आपण जे सूर ऐकतों ते सर्व मिश्र सूर असतात. आपल्या भाषणांत आपण ज्याला स्वर म्हणतों तेही मिश्र सूर असतात. पुरुषांच्या भाषणांतले स्वन सुमारें १२० क्षिप्रतेचे आणि बायकांच्या भाषणांतले २४० चे असतात. या स्वनाबरोबर १०, १२ उपस्वन असतात. आपल्या भाषणांतील व्यंजनें देखील अंशतः सूर या स्वरूपाचीं असतात. त्यांत स्वन आणि उपस्वन यांचा भरणा असतो, परंतु स्वरांपेक्षां त्यांचा आवाज फारच कमी वेळ टिकतो. स्वरच लांब ओढतां येतात, व्यंजनें ओढतां येत नाहींत.

आंदोलन

प्रत्येक वाद्य पदार्थाला आपापली निश्चित क्षिप्रता असते. त्याच्यावर आघात झाला असतांना तितक्या क्षिप्रतेचे तरंग सुरूं होतात.

या कंपनांची कक्षा लहानमोठी असणें हें मात्र त्या आघाताच्या लहानमोठेपणानें ठरतें. क्षिप्रता हा वाद्य पदार्थविशेषांचा धर्म आहे. तो अढळ आहे. कंपनाच्या कक्षेचा लहानमोठेपणा मात्र त्या पदार्थांत तत्क्षणीं असलेल्या चळवळीच्या शक्तीवर अवलंबून आहे. एक ठोका देऊन वाद्य थरथरूं लागलें म्हणजे त्याची शक्ति जसजशी हवेच्या रेणूंमध्यें पसरूं लागते तसतशी त्याच्या कंपनाची कक्षा लहान लहान होत जाते, आणि अखेर तें कंपन मुळींच बंद पडतें. हें लंबकांच्या आंदोलनाप्रमाणेंच आहे. लंबकाचा गोळा एकदा चाळवून सोडला म्हणजे तो झोके खाऊं लागतो. हळूहळू त्या झोक्यांची कक्षा लहान लहान होत जाते खरी, परंतु प्रत्येक विपळागणिक होणाऱ्या झोक्यांची संख्या कांहीं कमी होत नाहीं. (पडत्या फळाचा संदेश, पृष्ठ ७० पाहा).



आकृति ८

अनुनादन

समजा, एक लंबकाचा गोळा आकृति ७ प्रमाणें क पर्यंत ओढून सोडून दिला तर तो काय करतो? तो क ख ग कंसाच्या अनुरोधानें गपर्यंत चढतो व परत फिरतो. क पर्यंत आल्यावर पुनः पहिल्याप्रमाणें झोका खातो; अशा त्याच्या येरझारा चालतात. सामान्यतः दोऱ्याचा पीळ, हवेची घसट इत्यादिकांमुळें तो दर-एक वेळीं आपल्या मूळ उंचीवर न चढतांच खालीं घसरतो. होतां होतां तो मुळींच स्तब्ध होऊन राहतो. तो असा थांबू नये अशी आपली इच्छा असल्यास आपण एक साधी युक्ति योजितों. ती अशी कीं, दर एक खेपेस त्याच्या प्रवासामध्यें एके जागीं तो ज्या दिशेनें चालला असेल त्याच दिशेंत त्याला एक धक्का देतों

आगंतुक विरोधामुळें त्याचा जितका जोर खचत असेल तितकाच नेमका या धक्क्यानें मिळाला तर मूळच्याप्रमाणें तो चालू राहतो. धक्का कमी पडला तर तो कांहींशा विलंबानें थांबतो, आणि धक्का अधिकाधिक दिला तर त्यामुळें लंबकाचा पल्ला किंवा झोक्याची कक्षा उत्तरोत्तर वाढत जाते. झोपाळा किंवा पाळणा ज्यानें हालविला असेल त्याला या गोष्टी कांहीं नवीन नाहींत.

प्रस्तुत प्रसंगीं ही गोष्ट मुद्दाम ध्यानांत वागविली पाहिजे कीं, लंबकाचा झोका जरी लहानमोठा झाला तरी या झोक्याला लागणारा वेळ कांहीं बदलत नाहीं; आणि म्हणूनच त्याला सहायक म्हणून जे धक्के द्यावयाचे, ते नुसत्या नेमक्या जागीं नेमक्या यत्तेचे देऊन भागत नाहीं, तर ते नेमक्या कालक्रमानें दिले पाहिजेत. समजा लंबकाच्या झोक्याला एक विपळ लागत आहे. आपण त्याला उजवीकडून डावीकडे योग्य यत्तेचा झोका ख येथें देण्यास सुरुवात केली. आतां आपला धक्का दोलनास सहायक करावयाचा असल्यास तो आपण नेमका एकेका विपळानें द्यावयास पाहिजे. आपण जर विपळाच्या ऐवजीं पाऊण विपळानेंच धक्का दिला तर दुसऱ्या वेळीं गोळा क येथेंच सांपडेल. हा धक्का मूळ आंदोलनाला सहायक होईल. पण तिसऱ्याच धक्क्याचे वेळीं गोळा ख येथेंच पण डावीकडून उजवीकडे येतांना आढळेल आणि धक्का तर उजवीकडून डावीकडे येतांना आढळेल. एकूण धक्के आंदोलनाला अनुकूल व्हावयास पाहिजे असतील तर ते, दर एक आंदोलनास नेमका एक, किंवा दर दोन आंदोलनांस नेमका एक, किंवा दर तीन आंदोलनांस नेमका एक, असेच बसले पाहिजेत; आधें मधें किंवा भलत्याच दिशेस बसून चालावयाचे नाहींत.

समजा २००, २१०, २२०, अशा क्षिप्रतेचे तीन तंतू शेजारीं शेजारीं मांडले असतांना, आपण २०० क्षिप्रतेचाच एक

सूरकाटा जवळच 'सूं सूं' करीत ठेवला तर काय होईल ? सूरकाट्याभोंवतालच्या प्रदेशांतील हवेंत २०० क्षिप्रतेचेच ध्वनतरंग उत्पन्न होतील. त्यामुळें आरंभीं स्तब्ध ठेवलेल्या तंतूंना विपळागणिक २०० धक्के बसत जातील. या धक्क्यामुळें पहिला २०० क्षिप्रतेचा तंतू थरथरूं लागेल; परंतु दुसरे दोन मात्र स्तब्धच राहतील. कारण या दोहोंत प्रथम जरी किंचित् हालचाल उत्पन्न झाली तरी ही हालचाल म्हणजे दोलन स्वरूपाचीच असणार आणि दोलनांची संख्याहि दर विपळास २१० आणि २२० अशीच असणार, हें ठरलेलेंच आहे. परंतु अशा तऱ्हेच्या दोलनास मूळचा सूरच बाधक आहे. अर्थात् तोच बलिष्ठ असल्यामुळें हीं दोलनें बंदच पडतील. प्रयोग करून पाहतां हीं अनुमानें तंतोतंत कसास उतरतात. वेगवेगळ्या क्षिप्रतेचीं अनेक वाद्यें एका शेजारीं एक स्तब्ध ठेवून, त्यांच्या जवळच एक विशिष्ट क्षिप्रतेचा सूर वाजविला तर, त्याच्या इतक्याच किंवा त्याच्या २–३ पट क्षिप्रतेचा तंतु तेवढा त्याला आपोआप साथ देतो, बाकीचे गप्प राहतात.

आपल्याच क्षिप्रतेच्या सुरांशीं साथ करणें हा वाद्यांचा धर्मच आहे.

एक नाद चालू असला म्हणजे त्याच्या मागोमाग दुसऱ्यानें तसाच नाद काढणें या क्रियेस अनुनादन असें नांव आहे.

अनुनादन–तत्त्व ध्यानांत आलें म्हणजे कोणत्याहि वाद्याची क्षिप्रता ठरविण्याचा सोपा मार्ग सहज सुचतो तो असा. अनेक मोजक्या क्षिप्रतेचे सूरकांटे तयार करून ठेवावे, आणि कोणत्याचा अनुवाद विशिष्ट वाद्य करूं शकतें तें पाहावें म्हणजे झालें. या ठिकाणीं हें मुद्दाम ध्यानांत ठेवावयास पाहिजे कीं, जितक्यास

तितक्या क्षिप्रतेचा अनुनाद पुष्कळ मोठा असून बाकीचे अनुनाद अगदीं क्षीण असतात. ज्या सूरकाट्याच्या नादाचा अनुनाद तें करीत असेल त्या सूरकाटयाच्या इतकीच त्याची क्षिप्रता आहे असें समजावें. एका क्षिप्रतेच्या सुराशीं त्याच्या दुप्पट किंवा तिप्पट क्षिप्रतेच्या सुराची साथ जमेल; परंतु त्यांचा उंचनिंचपणा लपावयाचा नाहीं. मुख्य स्वन कोणता आणि उपस्वन कोणता ही ओळख कानाला तेव्हांच पटते.

प्रश्नावलि

१ एका किल्ल्याच्या तटासमोर बंदुक उडल्यापासून दोन विपळांनीं (सेकंदांनीं) प्रतिध्वनि ऐकूं येतो. तट किती दूर आहे ? उत्तर, ३३० चरण.

२ विजेच्या चमचमाट ढगांत दिसल्यापासून पांच विपळांनीं गडगडाट ऐकूं आला. ढग किती दूर असावेत ? उत्तर, १ मैल.

३ कांहीं ध्वनतरंगाची क्षिप्रता १००, २०० व २००० आहे त्यांची लाट-लांबी (तरंगायाम) किती ? उत्तर, ३·३, १·६५, ०·१६५ चरण.

४ कांहीं बिनतारी संदेश नेणाऱ्या तरंगांचे आयाम ७० आणि २०० चरण (मीटर) आहेत. त्यांचा वेग विपळास १,८६,००० मैल आहे. त्यांची क्षिप्रता किती ? उत्तर, ४,२५१,०००; १,४८८,०००.

५ पिवळ्या प्रकाशाची लाटलांबी ०·०००,०००,६ चरण आहे. त्याची क्षिप्रता किती ? उत्तर ५००,०००,०००,०००,०००.

६ आवाजाचा उंचनिंचपणा आणि लहानमोठेपणा, या गुणांचें वास्तव स्वरूप काय ?

७ सूर म्हणजे काय ? शुद्ध सूर आणि मिश्र सूर यांत भेद कोणता ?

८ स्वर आणि व्यंजन यांत मुख्य भेद कोणता ?

९ अनुनादन म्हणजे काय ? ही क्रिया कशामुळें घडते ?

१० एक शुद्ध सूर वाजत आहे. त्याची क्षिप्रता ठरवण्याचा सोपा उपाय कोणता?

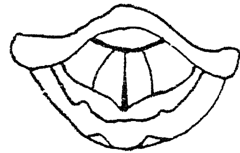
प्रकरण ३

वदन व श्रवण

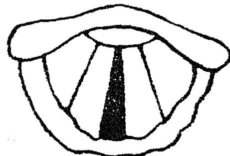
आतां ध्वनतरंग उत्पन्न करण्याचें मानवी इंद्रिय कोणत्या गुणानें आपलें काम करतें तें पाहूं या. ऐकण्याचें इंद्रिय तें श्रवण आणि बोलण्याचें इंद्रिय तें वदन होय. दांत, ओठ, जीभ, तालु आणि घसा हीं मिळून वदन होतें. पण खरोखरी पाहतां वदनक्रियेच्या इंद्रियांपैकीं हा एक भाग आहे. खरें वाग्-इंद्रिय म्हणजे कण्ठ. गळ्याची घाटी म्हणून आपण जी म्हणतों ती कंठाचा एक भाग आहे. किंबहुना ती कंठाची पुढल्या अंगाची ढालच आहे असें म्हणावयास पाहिजे. या ढालीच्या आड दोन पट्ट्या आहेत. या पट्ट्यांच्या मधील फट कमी अधिक करण्याकरतां आणि त्यांजवर कमी अधिक ताण देण्याकरतां मांसतंतु आहेत. प्रस्तुत पट्ट्यांनाच वाक्तंतु असें नांव आहे. कंठांतून खालीं फुप्फुसाकडे आणि वर वदनाकडे वाटा आहेत.



आ. ९



उंचा आवाज काढतांना



निंचा आवाज काढतांना

आ. १०–११

कंठांतील वाक्तंतू

आपण तोंडांतून आवाज काढतों तेव्हां फुप्फुसांतली हवा कंठांतून घुसतांना वाक्तंतू ताणलेले असतात ते झटकले जातात. त्यामुळें ते कंप पावतात. तेथें मिश्र सूर निघतात. घसा, तोंड आणि नाक व कांहीं अंशीं फुप्फुसें, त्या सुरांतल्या एखाद दुसऱ्या उपस्वनाची साथ धरतात. त्यामुळें तेवढेंच उपस्वन महत्तेनें वाढतात.

वदनाचा कोठा बदलेल व आकृति बदलेल त्याप्रमाणें निरनिराळे उपस्वन पुष्ट होतात, व त्यामुळेंच निरनिराळे सूर उमटतात.

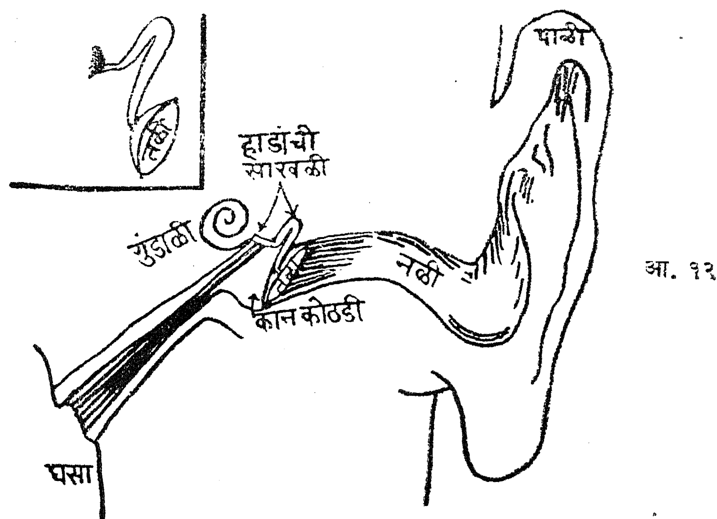
ताळूवर वेगवेगळ्या प्रकारें जीभ दाबून कंठ्य, तालव्य, मूर्धन्य व्यंजनें उमटतात. दातांवर जीभ दाबून दंत्य उमटतात, ओठावर ओठ दाबून ओष्ठ्य व्यंजनें उमटतात आणि अशाच कांहीं प्रकारें इतर व्यंजनें उमटतात.

कर्ण

सामान्यतः आपण ज्याला कान म्हणून म्हणतों तो खरोखरी पाहतां श्रवणेंद्रियाचा एक क्षुद्र भाग आहे. आकारानें तो महत्त्वाचा आहे, परंतु कामगिरीनें इतर भागांपेक्षां गौणच आहे असें म्हणावें लागतें. तरीसुद्धां त्याची कामगिरी एकदां पाहून घेण्यासारखी आहे. कान मोठे असणें हें दूषण समजतात. परंतु तें केवळ सौंदर्यदृष्ट्या बोलणें झालें. वास्तवदृष्ट्या मोठा कान हा लहान कानापेक्षां अधिक योग्यतेचा ठरतो. कानाची पाळी एकाद्या नसराळ्यासारखी आहे. या नसराळ्यांतून ध्वनिशक्ति आंत सोडावयाची असते. नसराळें जितकें अधिक पसरट तितकें तें अधिक शक्ति पकडतें हें उघडच आहे.

जी शक्ति एरवीं आजूबाजूला पसरून गेली असती, ती सर्व वळवून गोळा करून आणण्याचें काम ही पाळी करीत असते.

कानाच्या पाळीला आंत नळी जोडलेली आहे हें उघडच आहे. ही नळी सरळ नाहीं; अंमळ बांकदार आहे. त्यामुळें नळीचा तळ कांहीं युक्ति योजल्यावांचून दृष्टीस पडत नाहीं. नळीच्या तळांत एक नाजूक पडदा आहे. तो वाटोळा असून त्याला बाहेरच्या



आ. १२

अंगानें थोडी खोलवटी आहे. या पडद्याला आपण तळी म्हणूं या. या तळीचा खोलांत खोल भाग एकाद्या टांचणीच्या डोक्याएवढा आहे. त्यामुळें कानाच्या पाळीच्या घेरांत सांपडलेली शब्दशक्ति या तळीच्या खळीमध्यें गोळा होते. या तळीला कांहीं मांसतंतू लागलेले आहेत. त्यांच्या योगानें ती तळी ताठ किंवा ढिली करतां येते. तळीवर फार जोराचे आघात होऊं लागले कीं ती ढिलावते, व अंधुक आघात होऊं लागले की ताठते. डोळ्यांमध्यें कमी अधिक उजेड घेण्याला, वर्णमंडळ नामक वाटोळ्या पडद्यांतील खिडकी लहानमोठी करण्यापासून दर्शनास जो उपयोग होतो, तोच या

योजनेमुळें श्रवणास होतो. डोळे बंद करण्याची व्यवस्था आहे. पण कान बंद करण्याची व्यवस्था नाहीं. तळी ढिली केल्यानें कानास विसावा मिळतो आणि नळीच्या बाकदारपणानें तिचें संरक्षण होतें.

कानकोठडी

कर्णपटलाच्या, म्हणजे कानाच्या तळीच्या, आंतल्या अंगाला एक लहानशी कोठडी आहे. या कोठडींत हवा आहे. ती हवा आणि घशांतली हवा यांचा संबंध एका नळीनें जोडलेला आहे. ही नळी बुजली म्हणजे, थोडक्याच वेळांत आंतली हवा बाहेरच्या हवेपेक्षां जास्त तापलेली राहते, तळीवर आंतला दाब बाहेरच्यापेक्षां अधिक होतो, आणि तळी ताणली जाते. असा ताण बसल्याची भावना स्पष्टपणें प्रत्ययास येते. आपण घुटका गिळतांना एक क्लिक् आपल्याला आंतल्या आंत ऐकूं येतें. ती ही नळी बंद होत असल्याची खूण आहे.

श्रवणाच्या कोठडीच्या एका अंगाला तळी आहे, तर त्या समोरच्या अंगाला, चांगल्या कणखर हाडामध्यें, एकाखालीं एक अशा दोन खिडक्या आहेत. यांपैकीं वरच्या खिडकीला एक पडदा लावलेला आहे. त्या पडद्यापासून पहिल्या तळीपर्यंत एक हाडाची सांखळी पसरलेली आहे. एकंदर कोठडीचा कोठाच मुळीं इतका लहान आहे कीं, त्यांत सरासरी एखादा हरबऱ्याचा दाणा जेमतेम कसा तरी बसेल.एवढ्या लहानशा कोठडीच्या समोरासमोरच्या दोन तटांमध्यें पसरलेली ही सांखळी अशी कितीशी मोठी असणार? पण तिच्यांत अगदीं चिमुकलीं अशीं तीन हाडें आहेत. हीं तीन हाडें मिळून एक लंबक होतो, असें म्हटलें असतां चालेल.

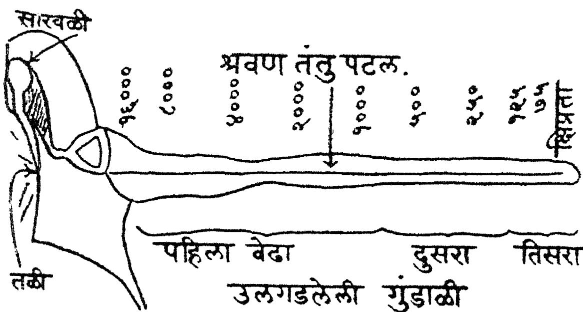
या लंबकाचा जो सर्वांत खालचा भाग, म्हणजे लोंबता गोळाच, तो तळीच्या खोलांत खोल भागांत गुंतलेला आहे. सगळ्यांत वरचा

भाग, म्हणजे या लंबकाची आकडीच म्हणावयाची, ती वरच्या अंगास छतास अडकविलेली आहे. आकडी आणि लांबता गोळा यांच्या मधला भाग तळीसमोरच्या खिडकींतल्या पडद्याला अडकविलेला आहे. त्यामुळें या खिडकींतल्या पडद्याची अवस्था एकाद्या आडकित्त्यांत सांपडलेल्या सुपारीसारखी होते. आडकित्त्याच्या टोंकावर टाकलेला दाब वाढत्या मानानें सुपारीवर पडतो, कारण आकडीपासून दांडीच्या टोकापेक्षां सुपारीला ठेवलेली पातच अधिक जवळ असते. पात जवळ असल्यामुळें तिची चाल कमी, पण जोर तितक्याच मानानें अधिक अशी स्थिति असते.

ध्वनतरंगामुळें कर्णपटलाची जी हालचाल होते ती, पल्ला कमी पण जोर अधिक होऊन, या हाडांच्या साखळी-मधून समोरच्या तटावरील खिडकींतल्या पडद्यापर्यंत पोंचते.

श्रवण-तंतू

आपल्या श्रवणेंद्रियामध्यें अतिशय लहान असे सुमारें २०००० तंतू आहेत. या तंतूंची लांबी वेगवेगळी आहे. हे तंतू छेडले अस-



तांना वेगवेगळ्या क्षिप्रतेचे कंप उत्पन्न होतील हें उघड आहे. तसेंच असेंहि म्हणतां येईल कीं, वेगवेगळ्या क्षिप्रतेच्या स्वनानें यांपैकीं

वेगवेगळे तंतूना प्रेरणा मिळते. या तंतूंशीं श्रवण चेतनीचीं अग्रें भिडलेलीं आहेत. त्यामुळें एकंदर योगायोग असा जमून येतो कीं, एकेक क्षिप्रतेच्या स्वनानें किंवा उपस्वनानें, एकेका चेतनिक तंतूला प्रेरणा मिळते. चेतनिक तंतू—गणिक संवेदना वेगवेगळी असते असें मानलें असतां, सर्व ग्रंथाचा नीट उलगडा होतो.

दोन कानांचें सार्थक.

माणसाला नाक एकच; पण कान आणि डोळे दोन दोन कां ? एका डोळ्यापेक्षां दोन डोळ्यांनीं अधिक काय दिसतें ? किंवा एका कानापेक्षां दोन कानांनीं अधिक काय ऐकूं येतें ? एक डोळा मिटावा आणि सुईच्या नेढ्यांत दोरा ओवावयाचा प्रयत्न करावा. प्रयत्न बरेच वेळां फसतो. नेढ्याची जागा एका डोळ्यानें नेमकी समजूं शकत नाहीं. त्याला दुसऱ्या डोळ्याची मदत लागते. कानाचें असेंच आहे. कसें तें पाहा. एक कान बहिरा असला तर आवाजाचा उगम कोठें आहे हें कळून येणें कठीण पडतें. एका कानापेक्षां दोन कानांनीं ध्वनत्पदार्थाचें स्थान अधिक चांगलें कळतें. अंतराचें ज्ञान डोळ्यापेक्षां कानाला एकंदरींत कमीच; परंतु एका कानापेक्षां दोहोंना मिळून हें ज्ञान अधिक, एवढें खास. डोळा दृश्यासमोर आणल्याखेरीज दृश्य दिसणेंच शक्य नाहीं; तसें श्राव्याचें नाहीं. ध्वन आडोशामागें वळून येऊं शकतो. दोन डोळे एका पदार्थावर रोखले म्हणजे, दोनहि डोळ्यांच्या दृष्टिरेषांच्या कांटावर दृश्य आहे, एवढें नक्की झालें.

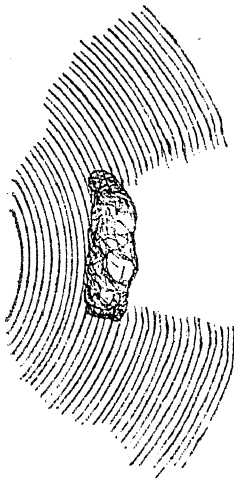
श्रुतिरेषा जर नक्की कळतील तर त्यांच्या कांटावर श्राव्य उत्पन्न होत आहे असें कळून येईल. परंतु डोकें हालवून कानोसा घेतल्याशिवाय श्रुतिरेषा नक्की कळून येत नाहीं ही एक अडचण आहे. शिवाय दुसरी अडचण अशी कीं दोन कान एकदम एका ठिकाणीं मुळीं रोखतांच येत नाहींत; त्यांची ठेवणच तशी आहे.

तरंगाची वळणूक.

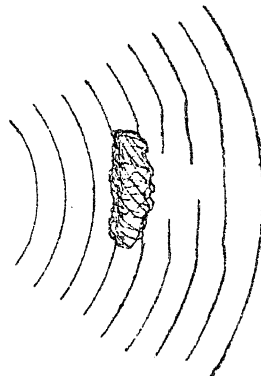
डोळे दृश्यासमोर असल्याशिवाय दृश्य दिसूं शकत नाहीं, परंतु कान श्राव्यासमोर नसले तरी श्राव्य ऐकूं येऊं शकतें. दृश्य तरंग आडोशामागें वळत नाहींत पण श्राव्यतरंग वळतात, असा भेद आहे. म्हणून कानोसा घेण्याकरतां एक कान श्राव्याकडे रोखला असतां दुसरा कान जरी श्राव्याला पाठमोरा असला, तरी त्यांत श्राव्यतरंग शिरत नाहींत असें नाहीं; मात्र असें वळून गेलेले तरंग बरेच क्षीण असतात. अशा रीतीनें दोन कानांनीं ऐकलेल्या ध्वनींत जो फरक पडतो त्यावरूनहि, श्राव्याचा अंतराचा अदमास होऊं शकतो.

दृश्य तेज आणि श्राव्य शक्ति, दोनहि तरंगरूप असलीं तरी, दृश्यतरंग आडोशामागें वळत नाहींत आणि श्राव्य वळतात, असा भेद कां ? याचें थोडें दिग्दर्शन येथें केलें पाहिजे. पाण्याच्या

लाटलांबी लहान वळणूक लहान



आ. ९४



आ. ९५

लाटलांबी मोठी वळणूक मोठी

तरंगांचें अवलोकन केलें तर असें आढळून येतें कीं, तरंग आडोशा-मागें वळणें हें लाटांची लांबी आणि आडोशाची लांबी यांच्या गुणोत्तरावर अवलंबून आहे. आडोसा एकच ठेवून लाट-लांबी कमी करीत गेलों तर क्रमाक्रमानें आडोशामागें वळणें कमी कमी होऊं लागतें. दृश्यतरंगांची लाटलांबी मोठ्यांत मोठी घेतली तरी ती देखील इतकी लहान आहे कीं, एकाद्या केसाची जाडी देखील त्यांच्या शेंपन्नासपट भरते. उलट श्राव्यतरंगांची लाटलांबी लहानांत लहान घेतली तरी ती ७ अंगुळांपेक्षां (इंचापेक्षां) कमी नसते. माणसाच्या बोलण्यांतल्या स्वनामध्यें तर ती ४, ६ हात असते. असे तरंग खिडक्यादारांतून भिंतीच्या आड सहजच वळून जातात.

आडोशाआड वळून गेलेल्या तरंगमुखांची महत्ता मात्र सरळ समोर गेलेल्या तरंगमुखांच्या महत्तेपेक्षां कमी असते. आपल्या उजव्या बाजूनें ध्वनतरंग आले तर उजव्या कानांत ते थेट पोचूं शकतात, परंतु डाव्या कानांत ते डोक्याआड वळून येतात. उजव्यापेक्षां डाव्यांतील तरंगाची महत्ता पुष्कळ कमी असते. अशा तऱ्हेचा फरक तोंडासमोरून येणाऱ्या तरंगांच्या महत्तेंत पडत नाहीं. अशा तारतम्यावरूनच आपण आवाजाची दिशा ओळखतों.

गायन्त्र, फोनोग्राफ व ग्रामोफोन

गायन्त्राची तबकडी हा पुष्कळ चांगल्या प्रतीचा 'बोलका ढलपा' आहे. या तबकडीवर केवळ सांकेतिक खुणा नव्हेत, तर शब्दाचा एक स्वभावगुण बिंबवलेला असतो. गायन्त्र ही बहुतांशीं मानवी श्रवणेंद्रियाची अनुकृति आहे. ध्वनि हा वायुरेणूंना धक्के मिळून उत्पन्न झालेल्या तरंगाचा परिणाम आहे, हें मनुष्याला चांगलें अवगत झालें, तेव्हां या तरंगांचा छाप उठवून ठेवून, त्यावरून पुनः तरंग उत्पन्न करण्याची युक्ति त्याला सुचली. तरंगशक्ति गोळा करण्या-

करता त्यानें एका कण्याची योजना केली; या कण्याला नळी जोडली; तिच्या तळाशीं कानांतल्या तळीच्याच धरतीवर एक पत्र्याचें तकट बसविलें; आणि या तकटाच्या मध्यभागीं बारीक कांड्या अशा बेतानें बसविल्या कीं, त्यांचा अग्रभाग तकटाच्या हालचालीला अनुसरून खालवर खालवर चळवळत राहावा. मानवी श्रवणामध्यें तळीच्या हालचाली हाडांच्या द्वारा आंतल्या गुंडाळीपर्यंत पोचतात, आणि तेथून तंतूंच्या द्वारा संवेदना उत्पन्न होते. कृत्रिम गायन्त्रामध्यें अर्थातच संवेदना संभवत नाहींत. पण गुंडाळीच्या जागीं फिरती तबकडी असते, तिच्यावर गुंडाळीच्या छेदासारखीच एक रेखीव वळवट उमटते. या वळवटीच्या रेखेमध्यें, किंवा चऱ्या-मध्यें म्हणा, उंचसखल भाग कोरले जातात. रेखा उमटावी म्हणून अर्थात ही तबकडी मऊ रांध्याची केलेली असते.

तबकडीवर ध्वनरेखा उमटवल्यानंतर विजेच्या योगानें तिजवर तांब्याचा लेप चढविली म्हणजे एक ध्वनमुद्रा तयार होते. मग या मुद्रेवरून कोऱ्या तबकड्यावर ध्वनरेखांचे छाप उठवतात, आणि ते पक्के करतात. अशा तबकड्या सिद्ध झाल्या म्हणजे त्या गायन्त्राच्या फिरकीवर ठेवण्यायोग्य होतात. या तबकडीच्या रेखाटींतून गायन्त्राची सुई फिरूं लागली म्हणजे रेखाटीच्या अनुरोधानें तिला उड्या माराव्या लागतात, आणि या उड्यांच्या अनुरोधानें तकटाला कंप सुटतात. येथेंच ध्वनतरंगांचा पुनर्जन्म होतो.

प्रश्नावलि

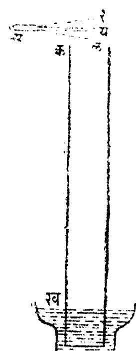
१ कानाच्या पाळीस ध्वनतरंग पोचल्यापासून श्रवणचेतनीस प्रेरणा मिळेपर्यंत मध्यंतरीं श्रवणेंद्रियांत काय काय क्रिया घडत असतात ?

२ गायंत्राची तबकडी कशी तयार करतात.

प्रकरण ४

निनाद किंवा मोठा अनुवाद

मानवी वाचेमध्यें ध्वनिप्रकार किती तरी आहेत! एकच मनुष्य केवळ आपले ओठ, जीभ इत्यादिकांच्या हालचालीनें तोंडाची आकृति बदलून किती तरी प्रकारचे ध्वनी काढूं शकतो! एकाद्या भांड्यांत पाण्याची धार पडत असली म्हणजे भांड्यांतून एक नाद निघतो. भांडें जसजसें भरत जातें तसतसा या नादाचा प्रकार बदलत जातो. असें कां व्हावें? हा प्रश्न सोडवण्याकरितां आपण



आ. १६

एक साधा प्रयोग करूं या. एक उभट भांडें किंवा नळकांडेंच म्हणा पाण्यानें बहुतेक भरून घ्यावें, आणि त्यांत एक काचेची दोनहीं तोंडें खुलीं असलेली नळी उभी धरून बहुतेक पाण्यांत बुडवावी. आतां या काचनळीच्या खुल्या तोंडाशीं एक सूरकाटा थरथरत ठेवावा, आणि तो नळीच्या तोंडाशीं ठेऊनच नळी हळूहळू वर उचलावी. म्हणजे असें आढळतें कीं कांहीं विशेष लांबीचा नळीचा भाग पाण्यावर काढला असतांनाच नळींतून चांगला निनाद निघतो. सूरकाटा निराळ्या क्षिप्रतेचा घेऊन असाच प्रयोग करावा. म्हणजे आढळून येतें कीं, आतांही विशेष लांबी असल्याखेरीज निनाद निघत नाहीं हा अनुभव येतोच, फक्त या लांबीचीं मापें बदलतात इतकेंच. उदाहरणार्थ—

(१) सूरकाटा ३२० क्षिप्रतेचा असला तर चांगला निनाद निघण्यास नळीची लांबी (अर्थात् पाण्याच्या वरची) कमींत कमी

१/४ चरण असावी लागते.(२) सूरकाटा ६६० क्षिप्रतेचा असला तर चांगला निनाद येण्यास किमान लांबी १/८ चरण (मीटर) असावी लागते. ३३०च्या सुराची लाटलांबी १ चरण आणि ६६०च्या सुराची लाटलांबी १/२ चरण असते. येथें असा नियमच दिसतो कीं

एकमुखी नळींतून चांगला निनाद निघण्यास तिची लांबी कमींत कमी १/४ लाटलांबी इतकी असावयास पाहिजे.
नळीची लांबी ३/४, ५/४ इ० लाटलांबी इतकी असतांही निनाद निघतो, पण तो उत्तरोत्तर लहान होत जातो.

आतां दोनही तोंडांनीं खुली नळी निनाद कोणत्या नियमानें देते तें पाहण्याकरतां एक योजना करावी. एका नळींत दुसरी नळी तटाला तट ठेपून राहील अशी बसवावी आणि हळूहळू बाहेर ओढावी म्हणजे क्रमाक्रमानें वाढत्या लांबीची नळी घेतल्यासारखें होईल. आतां अशा नळीच्या तोंडाशीं सूरकाटा थरथरत ठेवला असतां आढळून येईल कीं

उभयमुखी नळींतून चांगला निनाद निघण्यास तिची लांबी कमींत कमी १/२ लाटलांबी एवढी असावयास पाहिजे.
लांबी १/२ लाटलांबीची पूर्ण पट भरेल अशी असतांही निनाद निघतो.

निनाद देण्याकरतां भांडें घ्यावयाचें तें नळकांडें न घेतां जर कर्णा घेतला तर नियम वेगळाच निघतो; आणखी कांहीं निराळ्याच आकृतीचें भांडें घेतलें तर आणखी निरनिराळे नियम आढळतात. यावरून एवढी गोष्ट स्पष्ट होते कीं

मानवी वदनाची आकृति बदलल्यानें त्याची निनादनाची योग्यता बदलते.

एक आकृति एखाद्या सुराचा निनाद करण्यास योग्य तर दुसऱ्याचा

निनाद करण्यास अयोग्य असते. मानवी कंठांत जे सूर निघतात त्यांत एक स्वन आणि अनेक उपस्वन असतात. या स्वनोपस्वनां-पैकीं एकाद्याचा निनाद तोंडाच्या ज्या आकृतीमुळें निघेल त्यामुळें इतर अनेकांचा निनाद निघणार नाहीं हें उघड आहे.

उपपत्ति.

सूरकाटा नळीच्या तोंडीं थरथरत असला म्हणजे त्यापासून नळीच्या बाहेरच्या हवेंत तरंग उसळतात तसे नळीच्या आंतल्या हवेंतही उसळतात. नळीच्या आंत पसणारे तरंग लवकरच नळीं-तील पाण्यावर आदळून परत फिरतात. साहजीकच आगत आणि परागत तरंग एकमेकांत मिसळतात.या मिश्रणाचा परिणाम ध्यानांत येण्यासाठीं एक उदाहरण घेण्याजोगें आहे तें एकाद्या ताणलेल्या दोरीचें. दोरीचीं दोन टोकें पक्की केलीं आणि तीं छेडलीं म्हणजे तिला कंप सुटतात ते ⬭ किंवा ◯◯ असेंही असतात. या दुसऱ्या प्रसंगीं दोरीचीं दोन कांडीं पडलेलीं स्पष्ट दिसून येत आहेत प्रत्येक कांड्याच्या दोनही टोकाला एकेक पेरें (पर्व) आहे. कांडीं दोनच असल्यामुळें दोन टोकाला दोन पेरीं आणि मधोमध एक पेरें अशी स्थिति आहे. कांड्याचे सर्व भाग हालणारे आहेत. फक्त पेरेंच स्तब्ध आहे. कांड्याचा नेमका मध्यबिंदु हा सर्वांहून अधिक चंचल असतो. त्यास पोटरें म्हणतात.

आतां दोरीचें एक टोक ठाम बांधून ठेवावें, आणि दुसरें हातांत धरून त्यास लांबीच्या काटकोनांत हेलकावा द्यावा. म्हणजे दोरच्या दुसऱ्या टोकापर्यंत तरंग पोचतो आणि परत येतो असें आढळलें. याही प्रसंगीं कांडीं आणि पेरीं तयार होतात, पण हांतातलें दोरीचें टोक हें एका कांड्याचें टोक किंवा पर्व

न होतां पोटरें होतें, कारण तें अत्यंत चंचल असतें. दुसरें टोक मात्र पर्वच असतें, कारण तें स्तब्ध असतें.

शेजार शेजारच्या दोन पेऱ्यांमधील किंवा पोटऱ्यांमधील अंतर बरोबर अर्धा लाटलांबीइतकें असतें.

हवेंतील ध्वनतरंगांच्या परावर्तनानेंही पेरीं व पोटरीं तयार होतात. हवेच्या दाबांत जेथें फरक फार थोडा तें पेरें, आणि जेथें अतोनात तेथें पोटरें समजावयाचें. एक पेरें व त्याशेजारचेंच पोटरें यामधील अन्तर ¼ लाटलांबी इतकें असतें. आतां जेव्हां एकाद्या एकमुखी नळींत ध्वनतरंग पसरतात तेव्हां, परावर्तनानंतर सहजच तिच्या खुल्या तोंडाशीं पोटरें आणि आडवलेल्या तोंडाशीं पेरें



उत्पन्न होईल तरच नळींत जाऊन बाहेर येणारे तरंग आणि बाहेरच्या बाहेर उसळणारे तरंग यांचा जम चांगला बसतो, नाहींतर बसत नाहीं. एक पोटरें आणि त्या शेजारचें पेरें यामधील अन्तर ¼ लाटलांबी इतकें असतें, म्हणून एकमुखी नळीच्या दोन तोंडांमधील अन्तर इतकें असल्याशिवाय चांगला निनाद निघत नाहीं.

नळी दोनही तोंडीं खुली असली म्हणजे नळींतून बाहेर पडणारे तरंग खुल्या तोंडाशीं सुद्धा अंशतः परतवले जातात, त्यामुळें निनाद उत्पन्न होतो. परंतु अशा प्रसंगीं सहज

उभयमुखी खुल्या नळीच्या दोनही तोंडांशीं पोटरीं आलीं तरच येत्याजात्या तरंगाचा जम नीट बसतो, नाहींतर बसत नाहीं.

दोन शेजारशेजारच्या पोटऱ्यांमधील अन्तर ½ लाटलांबी एवढेंच असतें म्हणून इतकी नळीची लांबी असली तरच उत्तम निनाद निघतो, नाहीं तर निघत नाहीं.

प्रकरण ५

ध्वनपरावर्तन

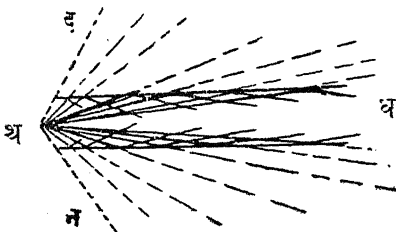
तत्त्वत: ध्वनपरावर्तन आणि प्रकाशपरावर्तन यांत भेद नाहीं. प्रकाशाच्या परावर्तनाला जे नियम लागू आहेत तेच ध्वनाच्या परावर्तनालाही लागू पडतात. असें असतांनाही दोहोंच्या वर्तनांत कांहीं साम्य तसेंच कांहीं वैषम्यही आहे. त्याचें कारण उघडच आहे कीं, ध्वनतरंगाची लाटलांबी प्रकाशतरंगांपेक्षा हजारों पटीनें मोठी असते, आणि ध्वनतरंगांचा प्रसारवेग हजारों अंशानें लहान असतो.

आडोशा आडून दिवा दिसत नाहीं पण ध्वन कानीं येऊं शकतो. लहानशा आरशांत प्रतिरूप दिसूं शकतें, पण लहानशा आरशावरून प्रतिध्वनि उमटूं शकत नाहीं. ध्वनशक्ति सहजासहजीं छोट्याशा आरशामागें वळून जाते. ध्वनतरंगांचें परावर्तन होत नाहीं असें नाहीं, पण परावृत्त तरंगांश सुद्धां बहुश: परत आरशामागें वळून जातोच. प्रतिध्वनि उमटण्याला परावर्तक भला मोठा, निदान एकाद्या भिंतीएवढा पाहिजे; मग तो विशेष गुळगुळीत नसला तरी चालतो.

दिवा लावला आणि तो दुरून देखील दिसला, या दोन क्रियेंतील अन्तर नुसत्या डोळ्याला समजून येत नाहीं; पण ध्वनि उत्पन्न केला आणि शें-पांचशें चरणांवरून त्याचा प्रतिध्वनि ऐकूं आला यांतलें कालान्तर कानाला सहज कळतें. स्पष्ट प्रतिध्वनि ऐकूं येण्यास, ध्वन अगदीं अल्पकालिक असावा. उदाहरणार्थ, एकादा हातोडीचा ठोका किंवा बंदुकीचा बार चालेल. पुढील भिंत मात्र ४०,५० चरण अन्तरावर पाहिजे. परावर्तक याहून जवळ असल्यास ध्वन आणि प्रतिध्वन एकमेकांत मिसळतात आणि गोंगाट

खडबड, गलबला, उत्पन्न होतो. साफ गुळगुळीत अखंड भिंती असलेल्या मंदिरांत आवाज घुमतो तो यामुळेंच. मंदिरांत पुष्कळ माणसें असलीं, पडदे वगैरे भिंतीशी असले, आणि खिडक्या दारें उघडीं असलीं म्हणजे घुमणें पुष्कळ कमी पडतें.

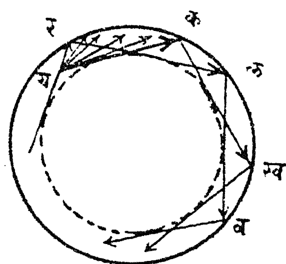
ज्या ठिकाणीं गायन, वादन, भाषण, आणि श्रवण चालाव-याचें असेल तेथें घुमणें उपयोगी नाहीं हें खरें; पण एखाद्या अफाट मैदानांतल्यासारखे आवाज उधळून देणेंही बरें नाहीं. थोडेंबहुत पांगून पांगून परावर्तन झालेलें चांगलें. अगदीं उघड्यावर दिवा लावण्यांत दिव्याच्या प्रकाशाची उधळपट्टी होते; परंतु कुड-लेल्या आवारांत दिवा लावला आणि भिंतींना व छताला सफेती असली म्हणजे प्रकशाचें विकिरण होतें, आणि एकंदरींत खोलींत उजेड बराच सामावला जातो. तसेंच ध्वनीचेंही विकिरण होऊन ध्वनशक्ति आडली गेली तर वक्त्याच्या किंवा वा-द्याच्या आवाजाला चांगली पुष्टी येते. थ येथें दिवा लावला तर त्याच्या प्रका-शाचा कांहीं झोत ध येथें येतो हें खरें, पण मध्यं-तरीं एकादी चकचकीत नळी धरली तर त्याहून पुष्कळच मोठा झोत ध येथें येतो. ध्वनतरंगांची अशीच गोष्ट आहे.



आ. १७

त थ द या कोनांत पसरणारी सर्व ध्वनशक्ति नळींत वळवली जाते, व ती नळीच्या दुसऱ्या टोकास बहुतांशीं जितक्यास तितकीच पोचतें. वाटेंत परावर्तक पृष्ठावर फारच थोडी खर्च होते. नळींतून दिवा दिसण्याकरतां नळी सरळ असणें अवश्य असतें. पण ध्वनि ऐकू

येण्यास तशी आवश्यकता नसते. उदाहरणार्थ डॉक्टर लोकांची श्रवणी घ्या. नुसत्या कानांनीं जे ध्वन ऐकूं येत नाहींत ते या नळीनें येतात. नळी वळणदार असली तरीही चालते. मोठाले गोल घुमट म्हणून जे असतात त्यांच्या आंत वाटोळा सज्जा काढलेला असतो.



आ. १८

या सज्जामध्यें ध्वनीचे प्रतिध्वनी ठिकठिकाणीं ऐकावयास येतातच, पण त्याखेरीज आणखी एक चमत्कार अनुभवास येतो तो असा. भिंतीच्या अगदीं जवळ अगदीं लहान आवाज काढला, नुसती कुजबुज केली, तरी दूरवर समोरच्या भिंतीशीं कान लावला असतांना ती ऐकूं येते; भिंतीपासून दूर मात्र ऐकूं येत नाहीं. हा सज्जा म्हणजे एक मोठी थोरली पन्हळीच असते असें म्हणावयास पाहिजे.

प्रश्नावलि

१ आडोशाआड असलेला दिवा दिसत नाहीं पण ध्वनि ऐकूं येतो तें कां ?

२ ध्वनिपरावर्तन आणि प्रकाशपरावर्तन यांतील साम्य—वैषम्य कोणतें ? तें कशामुळें उत्पन्न होतें ?

३ गोलघुमटांतल्या सज्ज्यांत भिंतीलगट काढलेला ध्वन लहान असला तरी दूरवर ऐकूं येतो तो कशामुळें ? हा ध्वन भिंतीला सोडून जवळ देखील ऐकूं येत नाहीं तें कां ?

४ एका सुराची क्षिप्रता ११० आहे त्याचा निनाद निघण्यास एका तोंडानें खुली नळी किती लांब पाहिजे ? दोही तोंडीं खुली नळी किती लांब पाहिजे ?

———

सूचि व पारिभाषिक शब्दकोश

प्रकाशविज्ञान

विशेषनाम सूचि

ध्वनिविज्ञान

परिशिष्ट

प्रवेश परीक्षेकरतां नेमलेल्या अभ्यासक्रमाचा या पुस्तकांत आक्रमलेला अंश.

कलमें २२–२५ यांचा विचार प्रकाशविज्ञानांत केला आहे.
कलमें २६–३२ यांचा विचार विद्युद्विज्ञानांत केला आहे.
कलमें ३३ व ३४ यांचा विचार ध्वनिविज्ञानांत केला आहे.

Physics (*theoretical*)

22. Reflection of light from plane and spherical mirrors ; multiple images ; Kaleidoscope ; Parallel mirrors. Periscope. Relation between the distances and the sizes of images and objects to be demonstrated and to be calculated mathematically. Principal Focus ; Search light Reflectors.

23. Refraction of light. Sine law and refractive index. Prism and lenses. Relation between the distances and the sizes of the images ; Stereoscope. Decomposition of white light. Refer to rainbow.

24. The photographic camera ; the human eye ; long and short sight.

25. The simple microscope ; compound microscope ; simple telescope and optical lanterns. Cinematograph (elementary treatment).

26. Lodestone ; Magnetic needle ; Earth a magnet ; Mariner's Compass ; Like and unlike poles ; Attraction and repulsion ; Magnetic induction.

27. Electro-Magnets ; permanent and temporary magnets ; Lines of force. Methods of magnetisation.

28. Electricity produced by friction ; Electroscope ; Attraction and repulsion ; Induction , Electricity resides on surfaces ; Discharge through points. Sparking ; conductors and non-conductors. Condensers. Electrophorus, Principles of electric machines.

29. Current electricity ; difference of electric levels ; simple cell, Le-Clanche's Daniel, Bunsen and Dichromate Cells : dry cell ; Accumulator. Electric circuit. What supplies the energy for the flow. Current detector. Galvano meter. Volameter and ammeter. Resistance and its effects on a current. Ohm's law.

30. Effects of electric current. Incandescent lamp ; arc lamp ; heating apparatus, Joule's Law. Laws of Electrolysis.

31. Magnetic properties of a coil carrying current ; induced currents ; transformers ; simple dynamo ; simple motor ; electric bell ; Morse instrument. (Elements only ; avoid constructional details.)

32. Bell's telephone. Microphone. Gramophone. (Elementary treatment.)

33. Elementary theory of Sound and wave motion. The human ear.

34. Reflection of sound ; echoes, multiple echoes ; whispering galleries.

Physics (*Practical*)

13. To prove the law of reflection.

14. To determine the focal length of a convex lens, by sunlight, or an object at a great distance.

15. To study the attraction and repulsion between two magnets.

16. To study the attraction and repulsion between two electrified bodies.

17. To study the lines of force of a simple magnet and a pair of magnets.

18. To study the heating effect of an electric current.

19. To study the use of a fuse in an electric circuit.

20. To study the effect of heating a magnetized needle.

21. To fit an electric bell.